

Yedek Parça Yönetim Sistemlerinde Envanter Havuzlama ve Bilgi Paylaşımının Fayda Analizi

Proje No: 108M004

Y.Doç.Dr.Seçil Savaşaneril

Doç.Dr.Yasemin Serin

Eylöl 2010

ANKARA

Önsöz

Tübitak 1001 Araştırma Destek Programı kapsamında desteklenen 108M004 no'lu projede yedek parça envanter sistemlerinin yönetiminde ortaya çıkan araştırma soruları ele alınmıştır. Çalışmada yedek parça sistemi içinde bağımsız çalışan ya da merkezi bir sistemde yer alan bayilerin parça ve hizmet paylaşımında bulunarak karlılıklarını nasıl artırabileceği analiz edilmiş, üretici tarafından kurulacak bir bilgi sistemi sayesinde gerçek-zamanlı stok bilgisinin paylaşılmasının bayiler arasındaki havuzlama kararlarına ve karlılığa etkisi incelenmiştir. Bağımsız bayilerin içinde bulunduğu rekabetçi ortamın üretici tarafından verilecek hangi teşvik mekanizmaları ile daha az rekabetçi ve daha karlı hale getirilebileceği üzerinde nicel analizler yapılmıştır. Havuzlama ile ilgili analizler tek-seviyeli ve iki-seviyeli sistemler altında yapılmış, havuzlamanın farklı seviyelerde yapılmasının karlılığı nasıl etkileyeceği incelenmiştir. Önerilen modeller ve elde edilen bulgular bu sonuç raporunda sunulmaktadır.

Proje 24 aylık bir süre için tanımlanmış, 24 ay sonunda üç aylık bir ek süre talep edilmiştir. Proje kapsamında iki doktora, iki mastır öğrencisi desteklenmiştir. Projede yapılan çalışmalardan üçü yurtiçi, dördü uluslararası olmak üzere yedi konferans sunumu yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda SCI'da yer alan dergilerde dört adet yayın yapılması hedeflenmektedir. Bir makale SCI'da yer alan bir dergide değerlendirilme aşamasında, diğer makaleler hazırlanma aşamasındadır.

İçindekiler

1 Giriş	11
2 Literatür Taraması	13
3 İki bayiden oluşan merkezi olmayan bir sistemde bayi karlılığının ve havu- zlama politikalarının bir analizi (İş Paketi-1)	16
3.1 Bilgi paylaşımı altında sistemin tanımlanması	17
3.2 Bayi-1'in optimal politikasının özellikleri	18
3.3 Sayısal Analiz	20
3.3.1 Bayi-1'in karlılık analizi	23
3.3.2 Envanter havuzlamanın getirileri	25
4 İki bayiden oluşan merkezi olmayan bir sistemde bilgi paylaşımının havu- zlama altında getiri analizi (İş Paketi-2)	28
4.1 Kısmen Gözlenebilen sistem için matematiksel model	30
4.2 Çözüm Metodu	33
4.3 Sayısal Analiz	35
5 İki bayiden oluşan bir sistemde sezgisel politikalar altında denge analizi, ve merkezi sistemle karşılaştırması (İş Paketi-3)	41
5.1 Bir bayi için optimal statik politikanın belirlenmesi	43

5.2	Sayısal bulgular ve algoritmanın performansı	44
5.2.1	Simetrik bayilerin analizi	44
5.2.2	Asimetrik bayilerin analizi	49
5.3	Merkezi sistem ile merkezi olmayan sistemin karşılaştırılması	51
6	İki bayi ve iki üretim tesisinden oluşan, merkezi olmayan bir sistemi, merkezi sisteme yakınsatacak teşvik mekanizmalarının analizi (İş Paketi-4)	52
6.1	Kullanılan yöntem	56
6.2	Sayısal Analiz	58
7	İki bayi ve tek bir üretim tesisinden oluşan merkezi bir sistemde optimal politikaların belirlenmesi, dinamik politikaların ve havuzlamanın fayda analizi, ve havuzlama tiplerinin bir karşılaştırması (İş Paketi-5)	62
7.1	Kullanılan Yöntem	65
7.2	Sayısal Analizler	71
8	Tartışma ve Sonuç	80

Tablolar Dizini

1	Bayi-1'in süreçte gerçekleşen olaylar için alabileceği kararlar	18
2	İs Paketi-1 için sayısal analizde kullanılan parametre değerleri	21
3	Algoritmada Adım 3'ün Adım 2'de elde edilen kar üzerindeki iyileştirmesi . .	35
4	Gözlenemeyen sistem altında sayısal analiz için kullanılan parametre değerleri	36
5	Etkileşimli sistem altında sayısal analizde kullanılan parametre değerleri . . .	44
6	Etkileşimli sistemde asimetrik bayiler altında sayısal analizde kullanılan parametre değerleri	50
7	İş Paketi-4 için kullanılan parametre değerleri	57

Şekiller Dizini

1	Merkezi olmayan sistemde Bayi-1'in optimal politikasının yapısı komisyon ödemesinin yapısı ile değişebilir.	20
2	Bayi-2 müşteri talebinin Bayi-1 karına etkisi	24
3	Bayi-1'in karının S_2 ve r 'ye göre değişimi	25
4	Havuzlamanın getirisi (diğer parametreler üzerinden ortalama alınmıştır . . .	26
5	"Her zaman parça isteğini kabul et" politikasının havuzlama yapılmayan politikaya kıyasla % getirisi	27
6	Örnekte parametreler $(S_2, K_2, Z_2, T_2) = (4, 0, -1, -4)$, $r = 9$, $R = 10$, $c_h = 2$, $c_l = 2$, $c_r = 0$, $c_t = 0$, $c_o = 2$, $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = 1$, $\mu_1 = 1$, $\mu_2 = 1$	33
7	Gözlenemeyen sistemde rassal olmayan politikalar altında karın kontrol parametrelerine göre değişimi	34
8	Bayi-1 müşteri talebinin bilgi paylaşımının getirisine etkisi ($c_r = 0$, $c_t = 0$, $c_o = 0$, $c_p = 0$ alında)	37
9	Gözlenen ve gözlenemeyen sistem altında optimal politikalar (Parametreler: $(K_2, Z_2) = (-3, -5)$, $\lambda_1 = 0, 2$, $r(j)$, $c_r = 0$, $c_t = 0$, $c_p = 0$ ve $c_o = 0$)	38
10	İsmarlama maliyetinin bilgi paylaşımının getirisine etkisi (Parametreler: $\lambda_1 = 0, 2$, $r = 1$, $c_r = 0$, $c_t = 0$, ve $c_p = 3$).	40
11	Müşteri reddetme maliyetinin bilgi paylaşımının getirisine etkisi	41
12	Taşıma maliyetinin (c_t) bayi karlılığına etkisi (diğer parametreler üzerinde ortalama alınmıştır.)	45
13	Taşıma maliyetinin (c_t) S, K, Z, T kontrol değişkenleri üzerinde etkisi (diğer parametreler üzerinde ortalama alınmıştır).	46

14	Komisyon ödemesinin havuzlamanın % getirisi üzerindeki etkisi (parametreler üzerinden ortalama alınmıştır.)	46
15	Komisyon ödemesinin kontrol parametreleri üzerindeki etkisi ($\lambda_1 = 0,45$, $h = 1$, $c_t = 2$)	47
16	Envanter maliyetinin havuzlamanın getirisi üzerindeki etkisi (parametreler üzerinde ortalama alınmış)	47
17	Farklı komisyon ödemeleri ve parça transfer maliyetleri altında, envanter maliyetinin havuzlamanın getirisi üzerindeki etkisi	48
18	Bayi-2 envanter maliyetinin havuzlama getirisi ve bayiler arasındaki akış üzerinde etkisi	51
19	Parça transfer maliyetinin rekabetin karı azaltması üzerindeki etkisi	52
20	Rekabetçi ve merkezi sistemler altında bayilerin servis seviyelerinin (bekleyen müşteri sayılarının) ve karlılıklarının karşılaştırılması.	53
21	Reddetme cezasının üretici, bayiler ve sistem karı üzerinde etkisi	59
22	Gelir paylaşımının sistem karı üzerinde etkisi	60
23	Üreticinin stok tutma maliyetinin karar değişkenleri ve parça akışı üzerine etkisi.	60
24	Üreticinin stok tutma maliyetinin bayiler, üretici ve toplam sistem karı üzerindeki etkisi.	61
25	Üreticinin para transfer maliyetinin bayiler, üretici ve toplam sistem karı üzerindeki etkisi. $c_t = 2$ iken %20 subvansiyon seviyesi altında hem bayilerin hem de üreticinin karı iyileşmektedir.	62
26	İş Paketi-5 için önerilen modeller	64
27	Optimal politika altında üretim ve parça transfer politikaları	67
28	İki-seviyeli model altında kaynak havuzlama tiplerinin karşılaştırılması	72

29	STÜ sisteminin SİPÜ'ye göre % getirisi ve alt-seviye birim stok maliyetinin getiri üzerindeki etkisi	74
30	Havuzlama tiplerinin karşılaştırılması ($\lambda_1 + \lambda_2$ 'nin sabit olduğu varsayılmıştır.)	77
31	Parça transferinin farklı stoklama politikaları altında getirisi (parça transfer hızı, $\mu_T = 10$, transfer maliyeti, $c_T = 15$ varsayılmış, bütün müşteri talepleri üzerinden ortalama alınmıştır.	78
32	Dinamik stoklamanın farklı parça transfer politikaları altında getirisi (parça transfer hızı, $\mu_T = 10$, transfer maliyeti, $c_T = 15$ varsayılmış, bütün müşteri talepleri üzerinden ortalama alınmıştır.	80

Özet

Bu projede yedek parça sistemlerinde iki bayiden oluşan tek-seviyeli ve merkezi olmayan bir sistemde bayilerin optimal stok, tayin ve parça transfer kararları ele alınmaktadır. Optimal kararlar bayiler arası bilgi paylaşımının şeffaf olduğu ve olmadığı durumlar altında belirlenmiş, havuzlamanın getirileri ve bilgi paylaşımının getiriler üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Analizler önce tek bir bayi için yapılmış daha sonra bayiler arası etkileşim altında havuzlamanın getirileri incelenmiştir. Bayiler arası rekabetin hangi teşvik mekanizmaları altında azaltılabileceği incelenmiş, üretici ve bayilerin karlılığını artırabilecek teşvik mekanizmaları önerilmiştir. Son olarak analizler iki-seviyeli merkezi bir sistem altında yapılmış, havuzlamanın hangi şartlar altında hangi seviyede yapılmasının karlılığı artıracağı belirlenmiş, havuzlama, stok tutma ve dinamik politikaların getirileri sayısal analiz ile ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Yedek parça yönetimi, merkezi olmayan bayiler, havuzlamanın getirileri, bilgi paylaşımı, bayiler arası etkileşim, yedek parça sistemlerinde teşvik mekanizmaları, iki-seviyeli yedek parça sistemleri

Abstract

In this project, a single-echelon decentralized service parts inventory system consisting of two service locations is under consideration. Under this setting optimal stocking, rationing and transshipment decisions of service locations are determined. The optimal decisions are determined under the assumption of full information sharing and partial- (no-) information sharing, and the benefit of part (and service) pooling and the effect of information sharing on these benefits are analyzed. The analysis is first conducted for a single service location, and then extended to two locations under interaction. When the service locations get engaged in a game, the competition may deteriorate the savings, which may not be preferable for the original equipment manufacturer. To alleviate the effect of competition, the manufacturer may be willing to introduce incentive mechanisms. In the project, possible incentive mechanisms that may benefit both the manufacturer and the service locations are analyzed. Finally, the study is extended to a two-echelon centralized system. In this system,

optimal policies of the service locations are determined under certain assumptions and numerical analysis are conducted to determine the benefit of pooling, to identify under which conditions which type of pooling would be beneficial, and the benefit of dynamic decision making.

Keywords: Service parts management, decentralized service locations, benefit of pooling, benefit of information sharing, interaction and gaming between locations, incentive mechanisms in service parts systems, two-echelon service parts management

1 Giriş

Yedek parça yönetim sistemleri satış sonrası hizmetin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Satış sonrası hizmet firmalar için yüksek miktarlarda gelir elde etmenin ve marka güvenilirliğini artırmanın bir yolu olmaktadır, bu nedenle firmalar satış sonrası hizmetlerini iyileştirmek istemektedir. Satış sonrası hizmetlerden elde edilen gelir toplam gelirin çok büyük bir yüzdesini oluşturmaya da yüksek kar marjları satış sonrası hizmetlerden elde edilen karın toplam karın önemli bir yüzdesine karşılık gelmesine neden olmaktadır. Örneğin otomotiv endüstrisinde, ABD merkezli General Motors firması 2001 yılında otomobil satışlarından 150 milyar dolar elde ederken, satış sonrası hizmetlerden 9 milyar dolar elde etmesine rağmen, satış sonrası hizmetlerden elde ettiği kar daha yüksek olarak gerçekleşmiştir [5].

Ancak satış sonrası hizmette karlılığı elde etmek kolay olmamaktadır. Bunun nedeni sektörün yüksek envanter ve müşteri memnuniyeti maliyetleri ile ve tahmini zor talep ile tanımlanmasıdır. Bu koşullarda satış sonrasında yüksek servis seviyelerini tutturabilmek ancak parça bulunurluluğunu yüksek seviyelerde tutabilmekle mümkün olmakta, bu da başatması zor envanter yönetim problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu problemin çözümüne yönelik uygulamalar pratikte görülebilmektedir. Örneğin, General Motors'un bünyesinde faaliyet gösteren Saturn otomotiv firması bayileri gruplayarak bayiler arasında parça havuzlaması yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bayilerdeki envanter, merkezi bir birim tarafından yönetilmekte bayilerin herhangi birinde stok bulunmaması durumunda gruptaki diğer bayiden parça isteğinde bulunmaktadır. Gruptaki bayilerde de parça bulunmaması durumunda diğer bayilerden parça isteği yapılmaktadır. Saturn, verdiği teşvikler ile bayilerin işbirliği risklerini paylaşmaktadır [6]. Parça havuzlama şeffaf bir bilgi paylaşımı ile mümkün olmaktadır. Parça havuzlamanın envanter maliyetlerini ciddi ölçüde azalttığı görülmüştür. Bayiler arasında parça havuzlamanın yapıldığı bir diğer firma takım tezgahı üreten Okuma firmasıdır. Firmanın distribütörleri bir bilgi sistemi ile bağlanmış durumdadır ve parça bulunamaması durumunda en yakın distribütörden parça transferi yapılabilmektedir [15].

Pratikte bir yedek parça servis ağı bağımsız bayilerden oluşabilir ya da bütün bayiler üreticiye bağlı olarak merkezi bir sistem ile yönetilebilir, ya da bir bayinin bir kaç tane şubeden

oluştugu melez bir yedek parça sistemi olabilir. Merkezi sistemde parça havuzlamanın envanter seviyesini düşürmesi ve maliyetleri azaltması beklenir bir olgu iken merkezi olmayan rekabetçi bir ortamda bayilere getirilerin ne olacağı kolay öngörülebilir değildir. Bu projede öncelikle merkezi olmayan bir sistemde yer alan bayilere havuzlamanın getirilerinin ne olacağı analiz edilmektedir. Bu amaçla iki bağımsız bayiden oluşan bir yedek parça sistemi tanımlanmış ve bayilerin parça (ya da hizmet) havuzlama ile işbirliği yapabilecekleri varsayılmıştır. Bir bayinin diğer bayinin politikasına nasıl bir politika cevap vereceği incelenmiş, politikanın karakteri analiz edilmiştir. Havuzlamanın hangi şartlar altında bayiye fayda sağlayacağı belirlenmiş, farklı havuzlama politikalarının getirileri incelenmiştir.

Analizler ilk aşamada şeffaf bilgi paylaşımı varsayımı altında yapılmıştır (İş Paketi-1). Buna göre bir bayi diğer bayideki stok seviyesini gerçek-zamanlı olarak görebilmektedir. Pratikte bilgi sistemlerinin farklı şeffaflık seviyelerine izin verebildiği görülmektedir. Örenğin stok seviyesinin gerçek zamanlı izlenebilmesi yerine sadece diğer bayide stok olup olmadığı bilgisine izin verilebilmektedir. Bilginin şeffaf olmaması bayilerin politikalarını değiştirebilir ve karlılıklarını etkileyebilir. Bayilerin karlılık ve servis seviyelerinin etkilenmesi üreticiyi de etkileyen bir faktör olacaktır. Bilgi paylaşımı üretici tarafından parça transferini teşvik etmek için sağlanmaktadır. Bu nedenle bilgi paylaşımının karlılık ve servis seviyelerine etkisi üreticiyi ilgilendirmekte, bilgi şeffaflığı kararlarında etkili olacağı öngörülmektedir. İş Paketi-2’de farklı bilgi paylaşımı seviyelerinin bayilerin karlılığını hangi şartlarda etkileyeceği analiz edilmektedir. Bayilerin bağımsız ve rekabetçi bir ortamda bulunduğu ve havuzlama yaptığı varsayılmıştır.

İş Paketi-3 ve İş Paketi-4’te ise iki bayinin birbirleri ile etkileşimde olduğu bir sistem varsayılmıştır. Etkileşimli sistem altında havuzlamanın getirileri analiz edilmiş, havuzlamanın getirilere, bayiler arası parça akışına ve servis seviyelerine hangi sistem koşulları altında nasıl etki ettiği belirlenmiştir. Bayilerin rekabet halinde olduğu sistem merkezi sistem ile karşılaştırılmış ve rekabetin karı ne ölçüde azalttığı belirlenmiştir. Analizler sonucunda merkezi sistemde envanter seviyelerinin daha düşük, ve bayiler arası parça akışının daha yüksek olduğu ve bayilerin daha yüksek servis seviyeleri altında çalıştığı gözlenmiştir. Bayilerin merkezi sistemde daha karlı olması üretici için de olumlu olmaktadır. Bu nedenle üretici bayilerin işbirliği içinde merkezi sisteme yakın politikalarla çalışmasını tercih etmektedir. Havuzlama bayiler

arasındaki rekabetin etkisini azaltmak için bir yöntem olmakla beraber rekabeti tamamen gidermemektedir. Bu nedenle üreticiler bayilerin politikalarını etkileyecek teşvik mekanizmaları belirleyerek bayilerin ve dolayısı ile kendilerinin karlılıklarını artırmak isteyebilirler. İş Paketi-4'te üreticinin farklı teşvik mekanizmaları ile bayilerin politikalarını nasıl merkezi sistem altındaki politikalara yakınsatabileceği incelenmektedir. Buna göre hem bayileri ve üreticiyi daha karlı hale getirecek hem de sistemi merkezi sisteme yakınsatacak teşvik mekanizmalarının tasarlanabileceği görülmüştür.

Son olarak yedek parça yönetim sistemi iki-seviyeli bir sistem altında ele alınmıştır. İki seviyeli sistemde üst-seviyede ve alt-seviyede stok tutulabilir ve bu esneklik sistemin karlılığını ve servis seviyesini artırabilir. İki-seviyeli sistem altında üst-seviyede stok tutmanın getirisi havuzlamanın getirisi ile birlikte incelenmiştir. Bunun yanı sıra sadece üst-seviyede ya da sadece alt-seviyede havuzlama yapılan sistemler karşılaştırılmış, hangi seviyede havuzlama yapmanın hangi şartlar altında karlı olduğu belirlenmiştir. st-seviyenin siparişe üretim yaptığı ve iki bayinin üreticideki tek bir kapasite tarafından beslediği varsayımı altında, üreticinin bayileri ikmal politikasının ve havuzlamanın getirileri analiz edilmiştir.

Proje sonuç raporunda önce yedek parça sistemlerinde havuzlama üzerine literatür taraması sunulmakta, projede yapılan çalışmaların literatüre katkısı tartışılmaktadır (Bölüm 2). Daha sonra her bir iş paketi altında yapılan çalışmalar ilgili bölümde sunulmaktadır (Bölüm 3-7). Son olarak projedeki sonuçlar tartışılmakta ve ileride yapılması planlanan çalışmalardan bahsedilmektedir (Bölüm 8).

2 Literatür Taraması

Yedek parça yönetimi üzerinde yapılmış en eski çalışmalardan biri [16] tarafından ortaya konulmuş olan METRIC modelidir. Çalışmanın amacı iki-seviyeli tamir edilebilir bir yedek parça sisteminde bir bütçe kısıtı altında ardışık seviyelerini enazlamaktır. [13] ve [3] bu çalışmayı servis üsleri arasında havuzlama yapıldığını varsayarak geliştirmişlerdir. [7] da iki-seviyeli bir sistemde havuzlama yapıldığını varsayar ve [13]'dan parçaların tamir edilememesi ve karşılanamayan talebin kaybedilmesi varsayımları ile farklılaşır.

[17] ikmal zamanlarını gözönünde bulunduran bir model üzerinde çalışarak farklı havuzlama politikalarını simulasyon yolu ile karşılaştırmakta ve "Her zaman parça transfer isteğini kabul et" politikasının en iyi havuzlama politikası olduğu sonucuna ulaşmaktadır. [1] merkezi iki-seviyeli N depodan oluşan bir sistemi daha karmaşık karar kuralları altında analiz etmektedir. Temel bulgular: acil durumlarda tedarik parça transferi ile karşılanmasının her zaman daha karlı olduğu ve ikmal süresinin dağılım fonksiyonunun sonuçlar üzerinde ciddi bir etkisinin olmadığıdır. [12] tek-seviyeli bir sistemde birçok yerleşkeden oluşan bir fabrikanın yerleşkeleri arasında parça transferi yapılabildiğini, ve parça transfer isteklerinin her zaman karşılandığını ve her zaman en ucuz yerleşkeden yapıldığını varsaymıştır. Çalışmada parça havuzlamanın envanter maliyetini düşürmekte etkili olduğunu gösterilmiştir. [9] bir distribütör ve birden çok bayiden oluşan iki-seviyeli bir sistem üzerinde çalışmış, merkezi ve merkezi olmayan sistemleri analiz etmiştir. Analiz sonucunda havuzlamanın daha yüksek envanter seviyelerine neden olabildiği ve havuzlamanın bayilerin maliyetini her zaman düşürmeyebileceği gösterilmiştir. Literatürde bir kaç çalışma havuzlamanın getirilerini birden fazla parça tipi varsayımı altında analiz etmiştir. Uçaklar gibi karmaşık ekipmanlar için parça havuzlamanın yapıldığı sistemleri inceleyen [18], hava taşımacılığı yapan bir firmanın envanter yönetim problemini ele almıştır. Bekleme zamanı kısıtları ve parça transfer isteğinin her zaman kabul edildiği varsayımı altında iki-yerleşimli bir sistem için stok seviyeleri belirlenmiştir. [11] birden çok parça tipi ve birden çok depoyu içeren bir sistemde sadece bazı depoların parça transferi yaptığı varsayımı altında yaklaşık bir yöntem geliştirmiş ve havuzlamanın getirilerini incelemiştir. Havuzlamanın bu koşullar altında bile getiri sağladığı sonucuna varılmıştır. Yukarıda belirtilen çalışmalarda ele alınan sistem merkezidir, parça transfer kararları optimal olarak alınmamakta, ve depot sayısının çokluğundan ötürü analizlerde yaklaşık metodlar kullanılabilmektedir. Stoklama ve parça transfer kararları (S, K, Z) politikaları altında sınıflandırılabilir. Bu politika altında S stok seviyesini, K tayın seviyesini, ve Z parça isteme seviyesini gösterir. Çalışmaların hemen hepsinde pozitif K ya da Z seviyeleri varsayılmış ve hemen hepsinde parça transferinin acil durumlarda gerçekleştiği varsayılmıştır. Bu $Z = 0$ varsayımına karşılık gelir. Buna ek olarak stok tayınlama yapılmadığı, yani her zaman parça transfer isteklerini kabul edildiği varsayılmıştır, bu $K = 0$ varsayımına karşılık gelir. Sadece [9]'de $K = Z$ varsayımı altında 0'dan farklı tayın ve parça isteme seviyeleri göz önünde bulundurulmuştur. Parça transfer kararları, bilgi paylaşımının etkili olarak kul-

lanılmadığını göstermektedir.

Literatürde gerçek-zamanlı bilgi paylaşımı altında merkezi sistemler birkaç çalışmada ele alınmıştır ancak çalışmaların sayısı oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmalarda stok ve parça transfer kararlarının diğer bayideki stok seviyesini gözleyerek ya da kalan ikmal zamanını göz önünde bulundurarak alındığı varsayılmıştır. Ortaya çıkan politikalar “dinamik”tir, yani kontrol parametreleri stok seviyeleri ve yoldaki parçanın yaşı ile değişebilmektedir. [2] iki bayiden oluşan bir sistemde stok seviyelerinin sadece bir defa planlama ufkunun başında karar verildiği, ve parça transferinin sadece parça kalmaması durumunda yapılabilirdiği bir problem üzerinde çalışmıştır. Bayiler için optimal tayın, ya da optimal eşik zaman değerleri belirlenmiştir. Bu S and $Z(=0)$ ’nin statik, K ’nın dinamik olduğu bir (S, K, Z) politikasına karşılık gelmektedir. [4] birden çok bayinin yer aldığı periyodik-gözden geçirmeli bir sistem için stok ve tayın kararlarının optimal olarak belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Kararlar verilirken bayilerdeki stok seviyeleri ve yoldaki parçaların yaşları göz önünde bulundurulmaktadır. Önerilen politika miyop olsa da alternatif sezgisel politikalar ile karşılaştırıldığında iyi bir performans gösterdiği görülmektedir. [19] iki yerleşkeden oluşan fabrikanın kapasite kısıtı varsayımı altında optimal stok ve tayın kararlarının belirlenmesi problemi üzerinde çalışmıştır. Politikaların monotonluğu gösterilmiş ve parça transferinin getirileri incelenmiştir. [20] kapasite kısıtlı iki yerleşkenin parça transfer, stoklama ve üretim kararlarını incelemekte parça transferinin sadece müşteri gelişinde yapılması varsayımını esnetmektedir. Bu esnekliğin getirisi ve sezgisel tayın politikalarının getirileri analiz edilmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, çalışmalarda (i) merkezi sistemlerin ele alındığı, (ii) optimal olmayan politikaların göz önünde bulundurulduğu, ya da (iii) gerçek zamanlı stok seviyesi bilgisinin kullanılmadığı, görülmektedir. Merkezi olmayan sistemlerde parça transferinin getirisi tek periyodlu basit sistemler altında ele alınmış, bilgi paylaşımının kararlar üzerindeki etkisi göz ardı edilmiştir. Günümüzde bilgi paylaşımının merkezi olmayan bayiler arasında sıkça yapıldığı görülmektedir ve bu olgunun analizlerde göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Bu projede literatürdeki boşluğu doldurmak amacı ile aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmaktadır: (1) merkezi olmayan sistemlerde gerçek-zamanlı stok seviyesi bilgisine erişim

olduğu varsayımı altında bayilerin politikaları nasıl belirlenir, ve havuzlamanın getirileri nelerdir, (2) Bilgi paylaşımının şeffaf olmaması, bayi politikalarını ve havuzlama getirilerini nasıl etkiler, (3) Bayilerin etkileşim içinde olduğu durumda bir denge politikasına ulaşılabilir mi, havuzlamanın getirileri bayilerin yapısı ile nasıl değişir, bayiler arası rekabetin karı azaltma üzerindeki etkileri nelerdir?, (4) Üretici ve bayileri daha karlı hale getirecek ve rekabetçiliği azaltabilecek hangi teşvik mekanizmaları önerilebilir?, (5) İki-seviyeli merkezi sistemlerde şeffaf bilgi paylaşımı altında optimal bayi ve üretim politikaları ne olmalıdır? Hangi seviyede havuzlama yapmak hangi şartlarda karlı olmaktadır, ve havuzlamanın getirileri nelerdir.

Bu sorular aşağıda sunulan beş iş paketi altında incelenmektedir.

3 İki bayiden oluşan merkezi olmayan bir sistemde bayi karlılığının ve havuzlama politikalarının bir analizi (İş Paketi-1)

İş Paketi-1 altında yapılan çalışmalar 2. çalışma dönemi sonu itibarıyla tamamlanmıştır. Bu sonuç raporunda, gelişme raporlarında yer alan analizlerin ve elde edilmiş bulguların bir özeti sunulacaktır.

İş Paketi-1’de, bir üreticinin yedek parça sistemini bağımsız bayiler aracılığı ile yönettiği varsayılmıştır. Sistemin analiz edilebilir olması için iki bayi olduğu varsayılmıştır. Çalışmanın amacı bayilerin parça ve hizmet havuzlama yolu ile işbirliği yapmasının karlılığa getirilerini incelemek ve bilgi paylaşımının kararlara ve kara etkisini analiz etmektir. İş Paketi-1’de bir bilgi sistemi aracılığı ile her bayinin diğer bayideki stok seviyesini gerçek-zamalı olarak takip edebildiği varsayılmıştır. İş Paketi-2’de bu varsayım esnetilmektedir. İş Paketi-1’de öncelikle bayilerden birinin (Bayi-1), diğer bayinin (Bayi-2) envanter ve üretim politikasını göz önünde bulundurarak alacağı optimal kararlar ne olmalıdır sorusuna cevap aranmaktadır. Bayi-1’in optimal politikasının yapısal özellikleri incelenmektedir. Sayısal analizlerle envanter ve talep havuzlamanın getirileri ölçülmekte, farklı havuzlama politikaları karşılaştırılmaktadır.

3.1 Bilgi paylaşımı altında sistemin tanımlanması

Merkezi olmayan sistemde bilgi paylaşımı altında Bayi-1'in optimal politikasını belirlemek için aşağıdaki model varsayımları yapılmıştır:

- Bayiler birbirlerinin envanter seviyelerini görebilir, durum (i, j) , durum uzayı \mathbb{Z}^2 olarak tanımlanmıştır.
- Tek bir parça ve müşteri tipi vardır.
- Bayilere gelen talep Poisson dağılıma uygundur.
- Her bayinin kendisine ait bir üretim birimi mevcuttur. üretimde bir birimlik kapasite kısıtı vardır. Birim üretim zamanı üssel dağılmaktadır.
- Bayi-1'e gelen talep λ_1 , Bayi-2'ye gelen talep λ_2 parametresi ile, Bayi-1'in üretim zamanı μ_1 ve Bayi-2'nin üretim zamanı μ_2 parametresi ile tanımlanmıştır.
- Sabit üretim maliyeti yoksayılabilir, envanter tutma ve müşteri bekletme maliyeti parça/müşteri ile ve zamanla doğru orantılıdır. Birim envanter maliyeti c_h , birim bekletme maliyeti c_ℓ ile gösterilir.
- Her müşteriden, talep karşılanırsa R , talep diğer bayiden parça (ya da hizmet) alınarak karşılanırsa $R - r$ birim getiri elde edilmektedir. Diğer bayinin parça (ya da hizmet) isteği karşılanırsa r birim getiri elde edilmektedir, $R \geq r$ olduğu varsayılmıştır.

Bu varsayımlar altında süreç Sürekli Zamanlı Markov Süreci olarak tanımlanır (Continuous time Markov Process). Bayinin alacağı optimal kararların belirlenmesi için Bayi-1'in gerçekleştirecek her bir olay altında alabileceği kararlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Bu sistemde Bayi-2'nin şu politika altında çalıştığı varsayılmıştır: Stok seviyesi, j , $< S_2$ ise üretimi durdur, aksi halde üretime devam et, $j \leq K_2$ ise Bayi-1'in parça ya da hizmet isteğini reddet, aksi halde kabul et, $j \leq Z_2$ ise Bayi-2'ye müşteri gelmesi durumunda

Tablo 1: Bayi-1'in süreçte gerçekleşen olaylar için alabileceği kararlar

Olay	Kararlar
Bir müşterinin Bayi-1'e gelmesi	(i) Müşteri'yi kabul et (stoktaki parçayı ver, ya da sırada beklet), (iii) Bayi-2'den parça veya hizmet transfer et
Bayi-2'nin parça ya da hizmet istemesi	(i) Transfer isteğini kabul et, (ii) İsteği reddet
Herhangi bir zamanda	Parça üretimini başlat, üretim varsa durdur

Bayi-1'den parça ya da hizmet isteğinde bulun, aksi halde talebi karşıla. Bayi-2'nin envanter politikası (S2, K2, Z2) olarak tanımlanmıştır (bu politika Bayi-2 için optimal politika olmayabilir). Tablo 1'e göre Bayi-1 için karar vektörü $\mathbf{a} = (a_1, a_2, a_3)$ ile gösterilebilir. Karar vektöründe $a_1 \in A_1 = \{\text{Müşteriyi kabul et}(A), \text{Bayi-2'den parça iste}(R)\}$, $a_2 \in A_2 = \{\text{Bayi-2'nin parça isteğini kabul et}(T), \text{reddet}(DT)\}$, $a_3 \in A_3 = \{\text{parça üret}(P), \text{üretme}(DP)\}$ kararlarına karşılık gelmektedir. "Bayi-2'nin politikası karşısında Bayi-1'in optimal politikası ne olmalıdır?" sorusu Markov Karar Süreci kullanılarak incelenmektedir. Ele alınan problemin Markov Karar Süreci ile çözülebilmesi için sürekli sisteme denk bir kesikli sistem tanımlanmıştır. Dönüştürme için yapay olay hızı (uniform rate), $\beta = \lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2$ olarak tanımlanmıştır, paranın zaman değeri α ile belirtilmektedir. Zamanın farklı tanımlanması ile $\alpha + \beta = 1$ olduğu varsayılmıştır. Bu durumda optimallik eşitliği (optimality equation) aşağıdaki gibidir:

$$v(i, j) = -c_h i^+ - c_\ell i^- + \lambda_1 \emptyset_1 v(i, j) + \lambda_2 \emptyset_2 v(i, j) + \mu_1 \emptyset_3 v(i, j) + \mu_2 \emptyset_4 v(i, j). \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de, $\emptyset_1 v(i, j) = \max\{v(i-1, j) + R, v(i, j-1) + R - r\}$, $\emptyset_2 v(i, j) = \max\{v(i-1, j) + r, v(i, j-1)\}$, $\emptyset_3 v(i, j) = \max\{v(i+1, j) + r, v(i, j)\}$, $\emptyset_4 v(i, j) = \{v(i, j+1)\}$, $j < S_2$ için, $v(i, j)$ $j = S_2$ için} olarak tanımlanmıştır.

3.2 Bayi-1'in optimal politikasının özellikleri

Gözlem 1 Sayısal analiz sonucunda, Bayi-1'in optimal politikasının $(S_1(j), K_1(j), Z_1(j))$ olarak aşağıdaki gibi tanımlanabileceği görülmüştür:

$$S_1(j) = \min\{i | v(i+1, j) - v(i, j) < 0\},$$

$$K_1(j) = \max\{i | v(i, j-1) - v(i-1, j) > r\} \quad (j \leq Z_2 \text{ için tanımlı}),$$

$$Z_1(j) = \max\{i | v(i, j-1) - v(i-1, j) > r\} \quad (j > K_2 \text{ için tanımlı}).$$

- $S_1(j)$ Bayi-1'in optimal envanter seviyesini gösterir. Her bir $j \leq S_2$ için $i < S_1(j)$ ise üretim yapmak, $i \geq S_1(j)$ ise üretimi durdurmak optimal karardır.
- $K_1(j)$ optimal tayın seviyesini gösterir. Her bir $j \leq S_2$ için $i \leq K_1(j)$ ise Bayi-2'den gelen parça transfer isteğini reddetmek, $i > K_1(j)$ ise transfer isteğini kabul etmek optimal karardır.
- $Z_1(j)$ optimal parça isteme seviyesini gösterir. Her bir $j \leq S_2$ için $i \leq Z_1(j)$ ise Bayi-2'den parça isteğinde bulunmak, $i > Z_1(j)$ ise gelen müşteriyi kabul etmek optimal karardır.

$S_1(j)$ genellikle (monoton) azalan yapı gösterirken, komisyon ödemesinin yapısına bağlı olarak, $K_1(j)$ ve $Z_1(j)$, genellikle j ile (monoton) azalan bir yapı gösterir. Bazı sistem parametreleri altında $S_1(j)$, $K_1(j)$ ve $Z_1(j)$ 'nin monotonluğunun bozulduğu görülmüştür.

$S_1(j)$, $K_1(j)$ ve $Z_1(j)$ 'nin monotonluğu için aşağıdaki gerek-ve-yeter koşullar tanımlıdır.

Önerme 1 V , reel-değerli fonksiyonlar kümesini gösterebilir, öyle ki; $v \in V : (i, j) \rightarrow \mathbb{R}$ aşağıdaki koşulları sağlıyor olsun:

$$Q1. i, i' \in \mathbb{Z}, v(i', j) \leq v(i, j), 0 \leq \theta \leq 1, (1-\theta)i + \theta i' \in \mathbb{Z} \Rightarrow v(i', j) \leq v((1-\theta)i + \theta i', j), \forall i, j.$$

$$Q2. v(i+1, j) - v(i, j) < 0 \Rightarrow v(i+1, j+1) - v(i, j+1) < 0, \forall i, j.$$

$$Q3. v(i, j-1) - v(i-1, j) < r \Rightarrow v(i+1, j-1) - v(i, j) < r, \forall i, j.$$

$$Q4. v(i, j-1) - v(i-1, j) < r \Rightarrow v(i, j) - v(i-1, j+1) < r, \forall i, j.$$

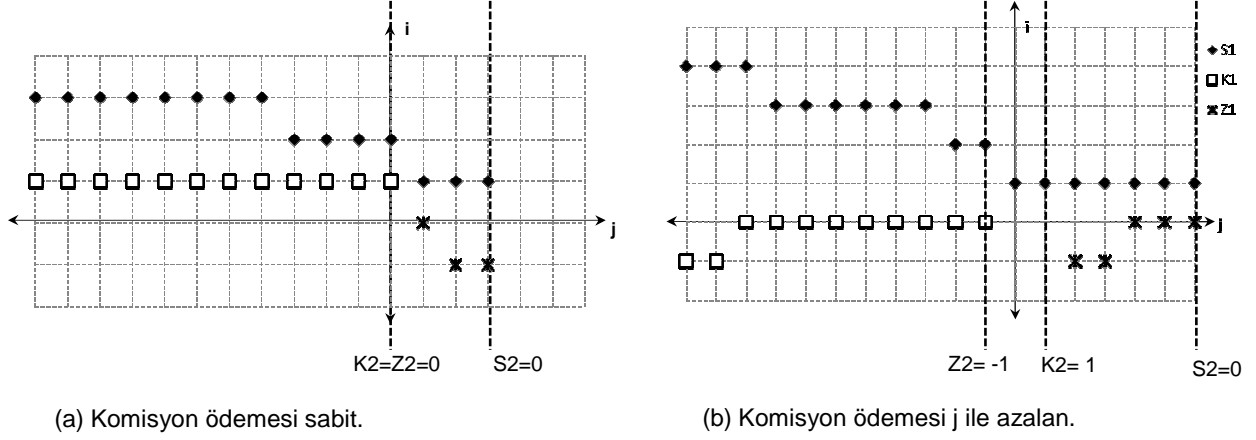
Eşitlik (1)'de tanımlanan $v(i, j)$, V 'nin bir elemanı ise, $S_1(j), K_1(j), Z_1(j)$ Gözlem 1'deki gibi tanımlıdır ve $S_1(j), K_1(j), Z_1(j)$ j ile monoton azalandır.

Q1, $v(i, j)$ fonksiyonunun quasi-konkav olması koşulu, Q2-Q4 quasi-submodülerite koşullarıdır.

Bu koşullar optimal politikanın Gözlem 1'deki gibi tanımlanması, $S_1(j)$, $K_1(j)$ ve $Z_1(j)$ 'nin

j ile azalan olması için gerek-ve-yeter koşullardır [14]. Sayısal analizlerde Bayi-1 optimal politikasının monoton olduğu durumlarda Q1-Q4 koşullarının (1)'den elde edilen $v(i, j)$ tarafından sağlandığı, monoton olmadığı durumlarda ise sağlanmadığı gözlenmiştir. Şekil 1'de merkezi olmayan sistemde, farklı komisyon ödemeleri altında Bayi-1'in optimal politikası görülmektedir.

Merkezi olmayan sistemde Bayi-1 optimal politikası



Şekil 1: Merkezi olmayan sistemde Bayi-1'in optimal politikasının yapısı komisyon ödemesinin yapısı ile değişebilir.

3.3 Sayısal Analiz

Sayısal analizde şu araştırma sorularına yanıt aranmaktadır: (i) Sistem parametreleri Bayi-1'in karlılığını nasıl etkiler?, (ii) Bilgi paylaşımı altında envanter havuzlamanın getirileri nelerdir?, (iii) Farklı havuzlama politikaları karı nasıl etkiler? (iv) Envanter havuzlama yapılması servis seviyesini nasıl etkiler?

Analizde S_2 , λ_1 , λ_2 , c_h ve r parametrelerinin etkisi araştırılmaktadır. Diğer parametrelerin seviyeleri sabit tutulmuştur (Bkz. Tablo 2).

Merkezi olmayan sistemin karlılığının analizi için toplamda 1.800 deney yapılmış, her durum altında Bayi-1'in optimal politikası belirlenmiştir. Optimal politikanın belirlenmesi için Markov Karar Süreci toplam iskontolu kar (total discounted profit) kriteri altında

Tablo 2: İs Paketi-1 için sayısal analizde kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değerler
S_2	$\{0; 1; 2; 3\}$
(K_2, Z_2)	$K_2 = Z_2 = 0$
λ_1	$\{0, 3; 0, 4; 0, 5; 0, 6; 0, 7\}$
λ_2	$\{0, 3; 0, 4; 0, 5; 0, 6; 0, 7\}$
r	$\{0; 1; 3; 6; 9; 10\}$
R	$\{10\}$
μ_1	$\{1\}$
μ_2	$\{1\}$
c_h	$\{0, 5; 1; 2\}$
c_ℓ	$\{2\}$

çözülmüştür. Çözüm metodu olarak lineer programlama kullanılmıştır, lineer programlama modeli aşağıda sunulmuştur.

$$Max \quad \sum_{\forall s} \sum_{\forall a} \rho(s, a) X(s, a)$$

Öyle ki

$$\sum_{\forall a} X(s, a) - \sum_{\forall s'} \sum_{\forall a} \left(\frac{\beta}{\beta + \alpha} \right) p(s|s', a) X(s', a) = \delta(s) \quad \forall s$$

$$X(s, a) \geq 0 \quad \forall (s, a)$$

Modelde,

s (i, j) durumuna $(i \in \mathbb{Z}, \{j : j \in \mathbb{Z}, j \leq S_2\})$,

a (a_1, a_2, a_3) karar vektörüne,

α iskonto oranına,

$\delta(s)$ sistemin s durumunda başlama olasılığına $(\delta(s) > 0, \sum_s \delta(s) = 1)$,

$\rho(s, a)$ getiri fonksiyonuna,

$p(s|s', a)$ geçiş olasılık fonksiyonuna,

$X(s, a)$ s durumuna a kararı altında yapılan iskonto edilmiş ziyaret oranına,

$$X(s, a) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\beta}{\beta + \alpha} \right)^{n-1} P\{s_n = s, a_n = a\},$$

karşılık gelir. Analizlerde *toplam iskonto edilmiş beklenen kar* ve *iskonto edilmiş beklenen sistemdeki müşteri sayısı* performans ölçüsü olarak kullanılmıştır. Ayrıca iskonto edilmiş beklenen kar'ın aşağıda belirtilen bileşenleri de performans ölçüsü olarak kullanılmıştır:

- R1: Müşterilerin taleplerinin karşılanması sonucunda elde edilen getiri (Bayi-1'in kendi kaynakları ve stoğu ile karşıladığı talepten elde edilen toplam iskontolu getiri).
- R2: Bayi-1'in Bayi-2'nin transfer isteklerini karşılayarak elde ettiği getiri.
- TRS: Bayi-1'in Bayi-2'den parça transfer ederek karşıladığı taleplerden elde edilen getiri.

1. Toplam iskonto edilmiş beklenen kar (**Kar**):

$$\begin{aligned}
\sum_{\forall s, \forall a} \rho(s, a) X(s, a) &= \sum_{\forall s} \sum_{\forall a} \frac{-c_h i^+ - c_l i^-}{\alpha + \beta} X(s, a) \\
&+ R \left(\sum_{\{s: j \leq K_2\}} \sum_{\forall a} \frac{\lambda_1}{\alpha + \beta} X(s, a) + \sum_{\{s: K_2 < j \leq S_2\}} \sum_{\{a: a_1 = A\}} \frac{\lambda_1}{\alpha + \beta} X(s, a) \right) \\
&+ r \sum_{\{s: j \leq Z_2\}} \sum_{\{a: a_2 = T\}} \frac{\lambda_2}{\alpha + \beta} X(s, a) + (R - r - t_{21}) \sum_{\{s: K_2 < j \leq S_2\}} \sum_{\{a: a_1 = R\}} \frac{\lambda_1}{\alpha + \beta} X(s, a)
\end{aligned} \tag{2}$$

2. Servis seviyesi, iskonto edilmiş beklenen sistemdeki müşteri sayısı (**SS**):

$$\mathbf{SS} = \sum_{\{s: i < 0\}} \sum_{\forall a} \frac{i^-}{\alpha + \beta} X(s, a)$$

3. R1:

$$R \left(\sum_{\{s: j \leq K_2\}} \sum_{\forall a} \frac{\lambda_1}{\alpha + \beta} X(s, a) + \sum_{\{s: K_2 < j \leq S_2\}} \sum_{\{a: a_1 = A\}} \frac{\lambda_1}{\alpha + \beta} X(s, a) \right) \tag{3}$$

4. R2:

$$r \sum_{\{s: j \leq Z_2\}} \sum_{\{a: a_2 = T\}} \frac{\lambda_2}{\alpha + \beta} X(s, a) \tag{4}$$

5. TRS:

$$(R - r) \sum_{\{s: K_2 < j \leq S_2\}} \sum_{\{a: a_1 = R\}} \frac{\lambda_1}{\alpha + \beta} X(s, a) \tag{5}$$

3.3.1 Bayi-1'in karlılık analizi

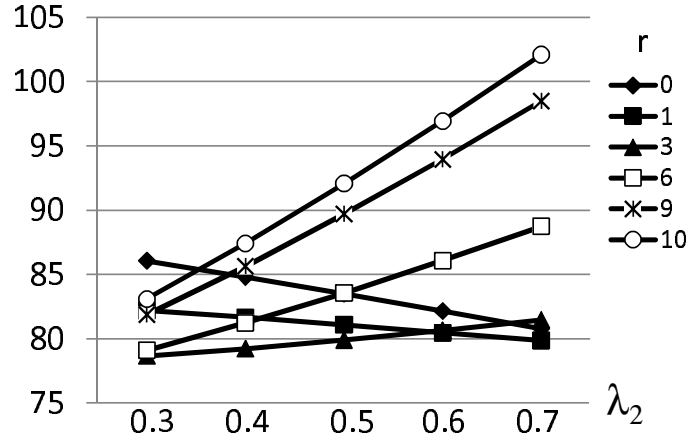
Bayi-1 müşteri talebinin (λ_1) kara etkisi

Bayi-1'in karlılığının müşteri talebi (λ_1) ile nasıl değiştiği incelendiğinde, karlılığın talep arttıkça arttığı gözlenmektedir ($\lambda_1 \in \{0, 3; 0, 4; 0, 5; 0, 6; 0, 7\}$ iken). λ_1 'in artması müşterilerden elde edilen getiriyi artırmaktadır (R1). te yandan λ_1 'in transferden elde edilen getirilere önemli bir etkisi olmamaktadır (R2 ve TRS). Sayısal analizlere göre R1, R2 ve TRS ile kıyaslandığında toplam getirinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır (yaklaşık %75). Bu durumda λ_1 'in artması getirilerde artış sağlamaktadır. Maliyetlerin de λ_1 ile arttığı görülmektedir. Sistemde iki maliyet bileşeni bulunmaktadır, envanter tutma ve müşteri bekletme maliyeti. Müşteri bekletme maliyeti talep oranı arttıkça artmaktadır. Talep oranının artması aynı zamanda bayinin daha yüksek envanter seviyesi bulundurmasına, ve envanter maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Talep geliş oranının artması hem getirileri hem de maliyetleri artırmakta fakat sonuçta karın artmasına neden olmaktadır.

Karın λ_1 ile artmasında envanter havuzlamanın önemli bir etkisi bulunmaktadır. Havuzlamanın olmadığı bir sistemde, maliyet artışı getiriden daha baskın olmakta ve artan talep oranı karlılığın azalmasına neden olmaktadır. Parça transferi ise bayideki kapasitenin artmasına benzer bir etki yaratarak artan talebin kara dönüştürülmesini kolaylaştırmaktadır.

Bayi-2 müşteri talebinin (λ_2) Bayi -1'in karına etkisi

Bayi-2'nin müşteri talebi arttıkça, transferden elde edilen birim getiriye (r) bağlı olarak Bayi-1'in karlılığı artabilir ya da azalabilir. λ_2 arttıkça Bayi-2 Bayi-1'den daha sık parça transferi talep ederken, Bayi-1'in parça transfer taleplerini daha seyrek karşılar. Bu durumda r değeri küçükse ($r = 0$ ve $r = 1$ olduğu durumlar), Bayi-1 için parça transferinden elde edilen gelir (R2) biraz artarken, Bayi-2'den transfer ettiği parçalar sayesinde elde ettiği gelir (TRS) önemli ölçüde azalır. Bunun sonucunda Bayi-1'in karlılığı azalır. Öte yandan r değeri yüksekse ($r = 9$, $r = 10$ olduğu durumlar), λ_2 arttıkça Bayi-1 için parça transferinden elde edilen gelir (R2) önemli ölçüde artarken, Bayi-2'den transfer ettiği parçalardan elde ettiği gelir (TRS) önemli miktarda azalır. Bunun sonucunda Bayi-1'in karlılığı artmaktadır (Bkz. Şekil 2).



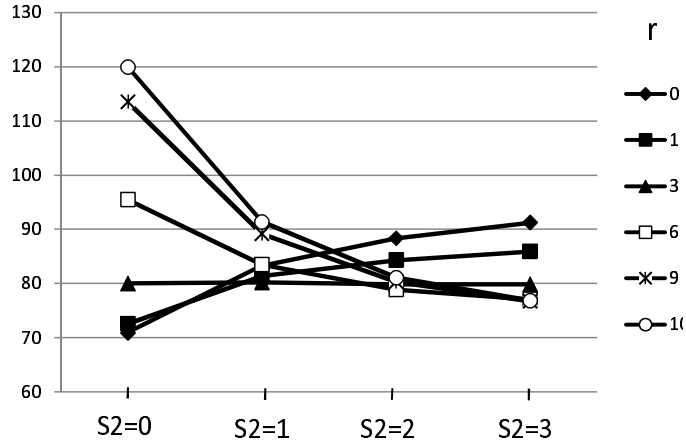
Şekil 2: Bayi-2 müşteri talebinin Bayi-1 karına etkisi

Komisyon ödemesinin (r) ve Bayi-2 envanter seviyesinin (S_2) Bayi-1'in karına etkisi

Sayısal çalışma sonucunda Bayi-2'deki envanter seviyesindeki artışın Bayi-1'in karlılığını artırabileceği ya da azaltabileceği görülmüştür. Eğer S_2 yüksek bir değer alıyorsa, Bayi-2 Bayi-1'in parça isteklerini daha sık karşılamaktadır. Bu durumda eğer ödeme miktarı (r) düşükse, Bayi-1, S_2 'deki bir artışı daha çok tercih etmekte ve karlılığı artmaktadır. Ödeme miktarının yüksek olduğu durumda S_2 'deki artış Bayi-1'in karlılığında bir düşüşe neden olmaktadır. Aynı şekilde S_2 'nin yüksek olduğu durumlarda Bayi-1 düşük ödeme miktarını, düşük olduğu durumlarda yüksek ödeme miktarını tercih etmektedir (Bkz. Şekil 3). S_2 'nin “orta” seviyede değerleri için ($S_2 = 1$) ise Bayi-1'in düşük ya da yüksek ödeme miktarından hangisini tercih ettiğini müşteri geliş hızı (λ_1) belirlemektedir: düşük λ_1 için yüksek ödeme, yüksek λ_1 için düşük ödeme miktarı tercih edilmektedir.

Önerme 1 *Bayi-1 her hangi bir koşul altında $r = 0$ ya da $r = 10$ 'u tercih eder.*

İspat. Her hangi bir politika altında ya Bayi-1'den Bayi-2'ye akış hızı ya da Bayi-2'den Bayi-1'e akış hızı yüksek olacaktır. Bu durumda Bayi-1 tarafından r değerinin uç değerlerden birinde olması tercih edilecektir. Buna göre optimal politika altında da Bayi-1 r 'nin uç değerlerinden birini tercih edecektir. \square



Şekil 3: Bayi-1'in karının S_2 ve r 'ye göre değişimi

3.3.2 Envanter havuzlamanın getirileri

Bu bölümde dört envanter havuzlama politikası önerilmekte ve Bayi-1'in karlılığı bu dört politika altında karşılaştırılmaktadır. Havuzlama politikaları:

1. Havuzlama yapılmaması,
2. Her zaman parça isteğini kabul et ($K_1 = -\infty$, $K_2 = -\infty$),
3. Optimal havuzlama politikası (alınan kararların (i, j) 'ye bağlı olarak değiştiği dinamik politika),
4. Sezgisel havuzlama politikası (alınan kararların sadece i 'ye bağlı olarak değiştiği statik politika),

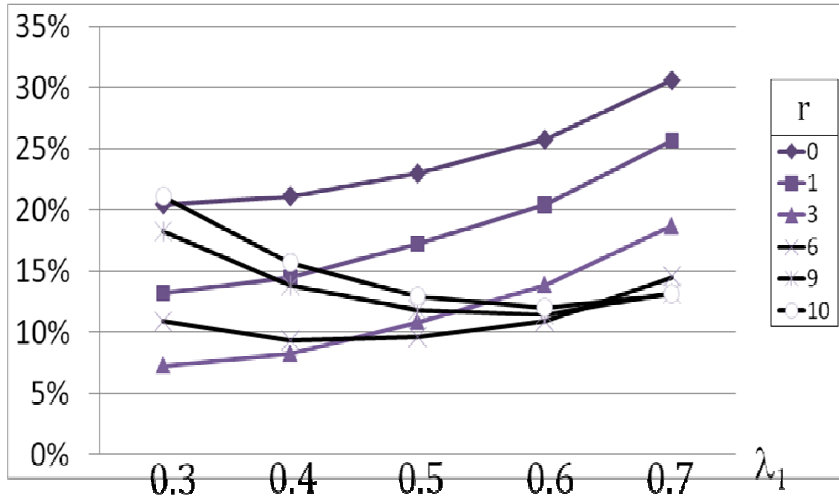
olarak belirlenmiştir.

Optimal politika ile havuzlama yapılmayan politika altında karlılığın karşılaştırılması

Optimal politika altındaki kar, havuzlama yapılmayan duruma göre daima yüksek olmaktadır. Ancak karlılığın miktarı sistem parametreleri ile değişmektedir (Bkz. Şekil 4). Buna göre havuzlama yapmanın getirisinin en fazla olduğu durumların, sistemin uç parametre değerleri altında çalıştığı durumlar olduğu görülmektedir. S_2 düşük, komisyon ödemesi

yüksek, Bayi-2 müşteri talebi yüksek ve Bayi-1 müşteri talebi düşükken havuzlamanın getirisi %180'e kadar çıkabilmektedir. Aksi durumda, S_2 yüksek, komisyon ödemesi düşük, Bayi-2 müşteri talebi düşük ve Bayi-1 müşteri talebi yüksekken, havuzlamanın getirisi yine yüksek olmaktadır (%55 civarında). İlk durumda Bayi-2 tamamen Bayi-1'e dayanmakta ve Bayi-1'in kapasitesini kullanmaktadır. İkinci durumda ise Bayi-1 Bayi-2'nin kapasitesini kullanmaktadır.

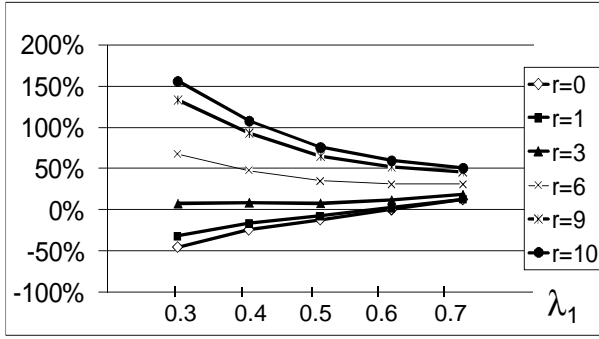
Havuzlama yapılan ve yapılmayan sistemler altında “servis seviyeleri” kıyaslandığında, 1.800 örnekten 1.357'si için servis seviyesi optimal havuzlama altında daha yüksek olmaktadır. Havuzlamanın getirisi arttıkça, servis seviyesi düşmektedir.



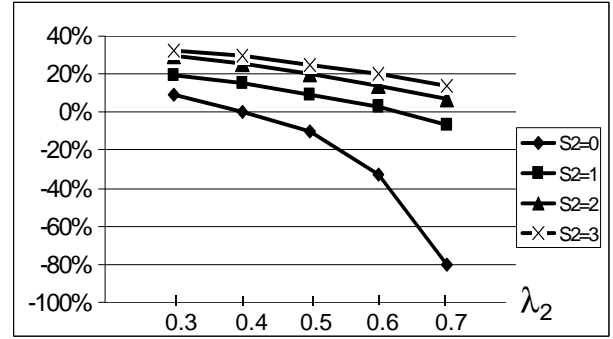
Şekil 4: Havuzlamanın getirisi (diğer parametreler üzerinden ortalama alınmıştır)

“Her zaman isteği kabul et” politikası ve havuzlama yapılmayan politika altında karlılığın karşılaştırılması

Envanter havuzlama optimal politika kullanılarak yapıldığında karlı olmakta, envanter havuzlama doğru yapılmadığında karlılık, havuzlama yapılmayan durumdan daha düşük olabilmektedir. Örneğin S_2 düşük iken, düşük komisyon ödemesi altında ve düşük Bayi-1 müşteri talebi altında “her zaman transfer isteğini kabul et” politikası havuzlama yapılmayan politikadan daha düşük kar vermektedir. Bu durum Bayi-1 için en kötü senaryoya karşılık gelmektedir, çünkü düşük komisyon ödemesi yüksek Bayi-2 parça transfer isteğini karlı kılmamaktadır. Bu nedenle havuzlama yapmamak parça transfer isteklerini her zaman kabul



(a) $S_2=0$, $c_h=1$, $\lambda_2=0.6$



(b) $r=0$, $c_h=1$, $\lambda_1=0.4$

Şekil 5: “Her zaman parça isteğini kabul et” politikasının havuzlama yapılmayan politikaya kıyasla % getirisi

Statik politika ile Optimal politikanın karşılaştırılması

Statik politika ile optimal politika kıyaslandığında, 1.800 örnek durumdan 1.684’ünde optimal politikanın statik politikaya göre getirisinin %1,5’tan az olduğu görülmektedir. Bütün örnek durumlar göz önünde bulundurulduğunda optimal politika altında karlılık en fazla %4 artış göstermektedir. Karlılığın %0 – %1,5 daha fazla olduğu ve %1,5 – %4 daha fazla olduğu parametre değerleri incelenmiştir. $S_2 = 0$ olduğunda Bayi-1’in optimal envanter seviyesi $S_1 = 9$ olabilmekte, $S_2 = 2$ ya da $S_2 = 3$ iken en fazla $S_1 = 3$ olmaktadır. $S_2 = 0$ altında Bayi-1’in optimal politikası statik politikaya yakın olmaktadır, bu nedenle $S_2 = 0$ altında fark %0 – %1,5 civarında gerçekleşmektedir. $S_2 = 0$ iken Bayi-2 gelen bütün müşteriler için Bayi-1’den parça isteğinde bulunmakta, bu durumda Bayi-2’nin envanter seviyesinin ne olduğu Bayi-1 için anlamlı olmamakta, ve sonucunda optimal politika j ’den bağımsız statik bir politika olmaktadır. Yüksek S_2 değerleri altında ise Bayi-2’deki envanter seviyesi Bayi-1’in aldığı kararları etkilemekte ve optimal politika j ’ye bağlı dinamik bir yapı göstermektedir. S_2 yüksek olduğunda S_1 düşük olmakta ve envanter seviyesindeki küçük bir fark bile karlılığı etkilemektedir. Bu durumda statik politika ile optimal politikanın karlılığı nispeten daha fazla olmaktadır.

İki sistem altında servis seviyeleri karşılaştırıldığında, statik politika altında servis seviyesi daha yüksek ya da daha düşük olabilmektedir. Statik politika altında bekleyen müşteri

sayıları arasındaki fark $- \%55$ ya da $+ \%129$ olabilmektedir. Optimal politika altında karın her zaman az da olsa daha yüksek olduğu gözlenmesine rağmen servis seviyeleri için bir eğilim görülememiştir.

4 İki bayiden oluşan merkezi olmayan bir sistemde bilgi paylaşımının havuzlama altında getiri analizi (İş Paketi-2)

Bu bölümde 2. ve 3. dönemde yapılan çalışmaların özeti ve 4. dönemde yapılan çalışmaların detaylı anlatımı bulunmaktadır.

İş Paketi-2’de merkezi olmayan bir sistemde bayiler arası bilgi paylaşımının getirisi ölçülmektedir. Endüstride bilgi paylaşımını temel alan iş modelleri görülmektedir. Örneğin Türkiye’de yaklaşık 150 bayisi bulunan bir otomotiv firması (bağımsız çalışan) bayileri arasında bilgi paylaşımını sağlamak için bir bilgi sistemi kurmuştur. Bu bilgi sistemi bir bayinin diğer bayilerdeki stok durumunu belirli bir detayda görmesini sağlamakta, bayide stok kalmaması durumunda parça isteyebileceği diğer bayileri belirlemesine yardımcı olmaktadır. Volvo İş Makinaları (Volvo Construction Equipment) ABD’deki faaliyetlerinde bağımsız bayileri arasında iletişimi sağlamak ve bayilerdeki stokları daha etkili yönetmek için bir Üretici Kontrollü Stok Yönetimi sistemi kurmuştur. Bu sistem altında bayiler stok durumları hakkında bilgi sahibi olarak Volvo üzerinden ya da birbirleri üzerinden parça transferi yapabilmektedir. Büyük ölçekli bayiler daha önceden var olan bilgi sistemlerini Volvo tarafından kurulan sisteme entegre ederek, şubeleri arasında daha detaylı stok bilgilerine erişebilmektedir. Başka bir örnek de ABD merkezli General Motors firmasıdır. Üretici firma bayiler arasında kurmuş olduğu şeffaf bilgi sistemi sayesinde bayilerin aldığı stok ikmal, satış, ya da parça transfer kararlarını otomobilinin renk, model, vb. bilgilerini görebilmektedir. Aynı sisteme bayiler de bağlıdır ve stok bilgilerine bütün detayları ile erişim mümkündür.

Bu örnekler incelendiğinde, üreticiler tarafından bayiler için kurulan bilgi sistemlerinin farklı şeffaflık düzeylerine sahip oldukları görülmüştür. Bu noktada bilgi paylaşımının stoklama

ve havuzlama kararlarına etkisi ve karlılığa getirisi önemli bir araştırma konusu olmaktadır.

Bilgi paylaşımının getirisini ölçmek için bilgi paylaşımın şeffaf olduğu ve şeffaf olmadığı iki ayrı sistem oluşturulmuştur. Bilgi paylaşımının şeffaf olmadığı durum, Bayi-1'in Bayi-2'nin stok seviyesini sadece kısmen görebildiği duruma karşılık gelmektedir. İş Paketi-2 altında, Bayi-2'nin İş Paketi-1'dekine benzer bir politika ile çalıştığı varsayılmıştır. Buna göre Bayi-2'nin politikası (S_2, K_2, Z_2, T_2) olarak tanımlanmıştır (İş Paketi-1 ve İş Paketi-2 altında Bayi-2'nin Bayi-1'deki stok seviyesi bilgisini kullanmadığı varsayılmıştır). Bu politikaya göre Bayi-2 $j \leq S_2$ iken üretim yapar, $j = S_2$ iken üretimi durdurur, $j > K_2$ iken Bayi-1'den gelen parça taleplerini karşılar, $j \leq K_2$ iken reddeder, $j \leq Z_2$ iken Bayi-1'den parça talebinde bulunur, ve $j \leq T_2$ iken gelen müşterileri reddeder. Benzer şekilde Bayi-1'in İş Paketi-1'deki kararlara ek olarak müşteri reddetme kararı da verebileceği varsayılmıştır. İş Paketi-1'de problem bir Markov Karar Süreci olarak tanımlanmış, analizler toplam beklenen iskontolu getiri kriteri (total expected discounted gain criteria) altında yapılmıştır. Performans ölçülerinin daha anlaşılabilir olması için İş Paketi-2'de analizler ortalama getiri kriteri (average gain criteria) altında yapılmıştır.

Bayi-2'nin verilen politikası altında bilgi paylaşımı şeffaflık seviyeleri ilk etapta aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- 1) Bayi-1, Bayi-2'nin stok seviyesini tamamen görebilir.
- 2) Bayi-1, Bayi-2'nin stok seviyesinin $j \leq K_2$ ve $j \leq Z_2$ olup olmadığını görebilir. Bu tanım şu varsayıma dayanmaktadır: Bayi-1, Bayi-2'den stok talebinde bulunduğu için ve Bayi-2'den parça transfer isteği aldığı için bu istekleri ve Bayi-2'nin verdiği cevapları kaydederek, Bayi-2'nin stok seviyesinin $\leq K_2$ ya da $\leq Z_2$ olup olmadığını çıkarsayabilir.
- 3) Bayi-1, Bayi-2'de sadece stok olup olmadığını görebilir. Bu tanım, Türkiye'de 150 bayi ile faaliyet gösteren otomotiv firmasının bayileri arasında tanımlı olan bilgi paylaşımı baz alınarak yapılmıştır.
- 4) Bayi-1, Bayi-2'nin stok seviyesini göremez. Bu tanıma göre, Bayi-1, sadece Bayi-2'nin talep dağılımı, üretim kapasitesi ve politikası (S_2, K_2, Z_2, T_2) 'hakkında bilgiye sahiptir,

sistemin iç işleyişini görememektedir ve stok seviyeleri hakkında gerçek-zamanlı bilgiye sahip değildir.

4.1 Kısmen Gözlenebilen sistem için matematiksel model

Farklı bilgi şeffaflıkları altında Bayi-1'in problemi Kısmen-Gözlenebilen Markov Karar Süreci ile modellenmiştir. Bunun için gözlenen süreç ve gerçek süreç tanımlanmıştır: Gerçek süreç $\{X_t, t \geq 0\}$ ile gösterilir ve durum, $X_t = (i, j), i \in Z, j \in \{T_2, \dots, S_2\}$, olarak tanımlanır. Gözlenen süreç ise durum uzayının bölümlere ayrılması ile tanımlanabilir. Buna göre $\{S_1, S_2, \dots, S_K\}$ durum uzayının bir bölünmesine karşılık gelsin, öyle ki $S = s : s = (i, j) = S_1 \cup \dots \cup S_K$, ve $S_k \cap S_\ell = \emptyset$ for $k \neq \ell$. Kısmen gözlenebilen sistem altında Z_t 'nin gözlenemediği fakat X_t 'nin içinde bulunduğu S durum uzayının alt kümesinin gözlenebildiği varsayılmıştır. Gözlenen süreç $\{Y_t, t \geq 0\}$ ile tanımlanır, ve $Y_t \in \{1, 2, \dots, K\}$ 'dir. $Y_t = k \Leftrightarrow X_t \in S_k$ 'dir.

Buna göre,

1)'de tanımlanan sistemde, gözlem kümesi $K = \{k : k = (i, j) | i \in Z, j \in \{T_2, \dots, S_2\}\}$,

2)'de tanımlanan sistemde $K = \{k : k = (i, \tilde{j}) | i \in Z, \tilde{j} \in \{0, 1, 2\}\}$,

3)'te tanımlanan sistemde $K = \{k : k = (i, \tilde{j}) | i \in Z, \tilde{j} \in \{0, 1\}\}$,

4)'te tanımlanan sistemde $K = \{k : k = (i, \tilde{j}) | i \in Z, \tilde{j} \in \{0\}\}$,

olarak tanımlanır.

Problemin çözümü için aşağıdaki matematiksel model sunulmuştur:

$$Max \quad \sum_{\forall k} \sum_{s \in S_k} \sum_{\forall a} \rho(s, a) \alpha(a|k) X(s)$$

Öyle ki

$$X(s) - \sum_{\forall k} \sum_{s' \in S_k} \sum_{\forall a} p(s|s', a) \alpha(a|k) X(s') = 0 \quad \forall s$$

$$\sum_{\forall a} \alpha(a|k) = 1 \quad \forall k$$

$$\sum_{\forall s} X(s) = 1$$

$$X(s) \geq 0 \quad \forall s$$

$$\alpha(a|k) \geq 0 \quad \forall k, \forall a$$

Modelde, $X(s)$, gözlenebilen sistem altında sistemin kararlı durumda s durumunda ne oranda zaman geçirdiğini gösteren değişkendir. Kısmen gözlenebilen sistemde s durumunun ne olduğu gözlenememekte, sadece $s \in S_k$ için k durumu gözlenebilmektedir. Bu durumda $\forall s \in S_k$ için alınacak kararlar ve kararların alınma olasılıkları aynı olacaktır. $\alpha(a|k)$, $s \in S_k$ için s durumunda hangi kararın hangi olasılıkla alınacağını belirten karar değişkenidir ve $\alpha(a|k) = P\{A_{t_n} = a | Y_{t_n} = k\}$ olarak tanımlanmıştır. A_{t_n} , n . karar anındaki kararı ve Y_{t_n} , n . karar anında gözlenebilen durumu belirtir.

$$\alpha(a|k) = \frac{X(s,a)}{X(s)}, \forall s \in S_k, k \in K, \forall a \in A, \text{ öyle ki, } X(s) = \sum_{a \in A} X(s, a), \forall s \in S.$$

Verilen bir durum ve karar altında elde edilen getirinin, $\rho(s, a)$ 'nın tanımı, İş Paketi-1'deki tanımından farklıdır. İş Paketi-2 altında, bilgi paylaşımının getirisini daha iyi ölçmek için şu değişiklikler yapılmıştır:

1. Müşteri reddetme kararı verildiğinde bayi c_r öder.

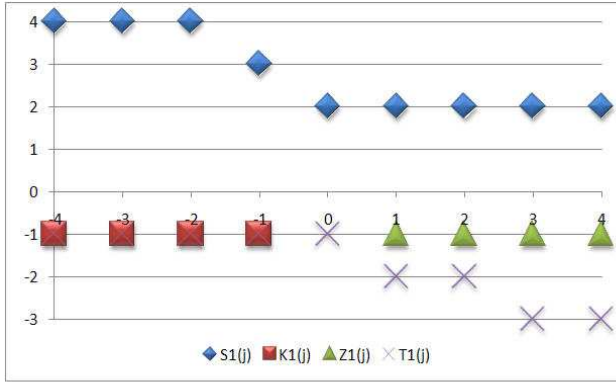
2. Üretim kararı verildiğinde, bayi c_p öder.
3. Diğer bayi'den parça istendiğinde, istek karşılanırsa da karşılanmasa da ısmarlama maliyeti, c_o oluşur.
4. Diğer bayiden parça alındığında yapılan komisyon ödemesi, r , diğer bayideki stok seviyesine göre değişir. Stok seviyesi yüksekse ödeme miktarı düşük, diğer bayide bekleyen müşteriler varsa ödeme miktarı yüksektir.
5. Parça transferi gerçekleştiğinde, parça isteyen bayi tarafından parça taşıma maliyeti, c_t , ödenir.

Buna göre modelde $\rho(s, a)$, aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

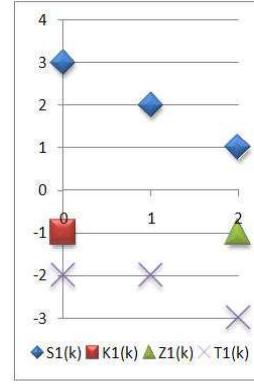
$$\begin{aligned}
\rho(s, a) = & \frac{[-H(i, j) - L(i, j)]}{\beta} - \frac{c_p}{\beta} I_{[a_3=P]} + \left[R \frac{\lambda_1}{\beta} I_{[a_1=A]} \right. \\
& + (R - r(j) - c_t) \frac{\lambda_1}{\beta} I_{[K_2 < j \leq S_2]} I_{[a_1=R]} \\
& \left. + r(j) \frac{\lambda_2}{\beta} I_{[T_2 < j \leq Z_2]} I_{[a_2=T]} - \frac{\lambda_1}{\beta} I_{[a_1=R]} c_o - \frac{\lambda_1}{\beta} I_{[a_1=Red]} c_r \right]
\end{aligned} \tag{6}$$

Şekil 6'da tamamen gözlenebilen, kısmen gözlenebilen ve hiç gözlenemeyen sistem altında Bayi-1'in optimal politikaları verilmiştir. Şekil 6(c)'de görüldüğü üzere, *gözlenemeyen sistem* altında rassal müşteri reddetme kararı verilmektedir.

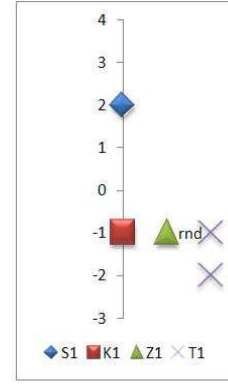
Yapılan analizlerde tamamen gözlenebilen ve hiç gözlenemeyen sistemler karşılaştırıldığında, bazı durumlar altında bilgi paylaşımının getirisi yüksek iken, getirinin kısıtlı olduğu bir çok durum tespit edilmiştir. Kısmen gözlenebilen sistemler altında optimal karın bulunması yukarıda sunulan, lineer olmayan modelin çözülmesi ile mümkün olmaktadır. Lineer olmayan modelin çözümü için GAMS programı altında BARON, KNITRO, CONOPT2 çözücülerini denemiştir. Standard opsiyon kullanıldığında optimal çözüme makul sürelerde ulaşamamaktadır (30 saate yakın çalıştırma süreleri gözlenmiştir). Bazı sonuçların optimalden oldukça uzak olduğu görülmüştür, yani çözücülerin performansı tutarlı değildir. Buna göre analizlerde şu kısıtlamalara gidilmiştir:



(a) Tamamen gözlenebilen sistem altında optimal politika



(b) Kısmen gözlenebilen sistem altında optimal politika



(c) Gözlenemeyen sistem altında optimal politika

Şekil 6: Örnekte parametreler $(S_2, K_2, Z_2, T_2) = (4, 0, -1, -4)$, $r = 9$, $R = 10$, $c_h = 2$, $c_l = 2$, $c_r = 0$, $c_t = 0$, $c_o = 2$, $\lambda_1 = 1$, $\lambda_2 = 1$, $\mu_1 = 1$, $\mu_2 = 1$.

1- Bilgi paylaşımının getirisi sadece tamamen gözlenen sistem ve gözlenemeyen sistemler karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bilgi paylaşımının tanımlanan diğer sistemler altında getirisi, elde edilen miktarlardan düşük olacaktır, ancak elde edilen öngörülerin kısmen gözlenebilen ya da gözlenemeyen sistemler için benzer olacağı düşünülmektedir.

2- Çözüm aşamasında karşılaşılan zorlukları aşmak için kararların rassal olabilmesi esnekliği kısıtlanarak, rassal olmayan politikalara odaklanılmıştır. Lineer olmayan modelin optimal çözümünde rassal olmayan kararlarla kısıtlanması (yani $\alpha(a|k) \in \{0, 1\} \forall a, k$ olması) bilgi paylaşımının getirisi üzerinde bir üst limit oluştursa da, analizlerde bir çok örnek altında optimal durumda rassal olmayan kararlar alındığının görülmesinden dolayı, üst limitin gerçek değere yeterince yakın olacağı düşünülmektedir.

4.2 Çözüm Metodu

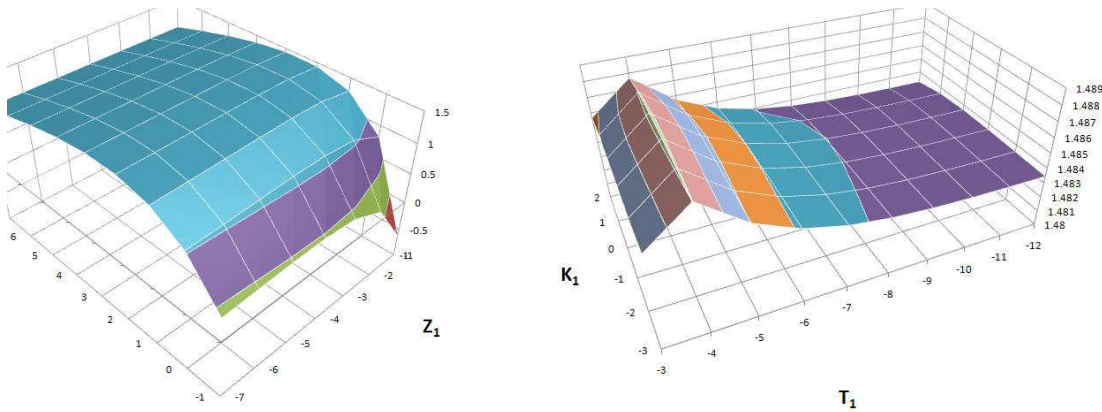
Bilgi paylaşımının getirisini ölçmek için tamamen gözlenebilen ve gözlenemeyen sistemler altındaki karlar karşılaştırılmıştır. Gözlenebilen sistem için bir lineer programlama modeli çözülmüştür.

Gözlenemeyen sistem için ise aşağıdaki algoritma önerilmiştir. Algoritma üç adımdan oluşmaktadır.

Adım 1. Lineer olmayan model için GAMS 23.0 modelleme dili ve Baron, Snopt ve MinosD çözücülerini kullanılarak çözüm elde edilmiştir. Baron çözücüsü başlangıç noktası kabul etmemekte, Snopt ve MinosD'ye ise başlangıç noktası verilebilmektedir. Snopt ve MinosD çözücülerini kullanılarak farklı çözümler elde edilmiştir. Bunlar başlangıç noktası verilmeden elde edilen çözüm, başlangıç noktası tamamen gözlenebilen sistemin lineer programlama modeli çözülerek elde edilen çözüm ve lineer olmayan modelden elde edilen çözümü başlangıç noktası olarak elde edilen çözümdür. Her bir örnek için toplamda 13 koşu alınmış, bu koşular arasında en iyi karı veren çözüm *aday çözüm* olarak kabul edilmiştir.

Adım 2. Adım 1'de elde edilen çözüm altında kararlar rassal değil ise, Adım 3'e geçilmektedir. Rassal ise, kararlar en yakın rassal olmayan karara yuvarlanmaktadır. Örneğin çözüm, sistemde bekleyen 3 kişi varken %70 olasılıkla müşteriyi reddet, %30 olasılıkla kabul et kararına işaret ediyorsa sistemde 3 kişi olduğunda müşteriyi reddet kararı verilmektedir. Rassal kararlar rassal olmayan hale getirildikten sonra Adım 3'e geçilmektedir.

Adım 3. Bu adımda rassal olmayan politika üzerinde lokal arama metodu ile iyileştirme yapılmaktadır. Buna göre Adım 2'de elde edilen (S_1, K_1, Z_1, T_1) politikasının her bir komşuluğundaki $((+1, 0, -1)$ komşuluk) politikalar incelenerek kar üzerinde iyileşme olup olmadığına bakılmaktadır. İyileşme ihmal edilebilir düzeyde ise devam edilmemektedir.



Şekil 7: Gözlenemeyen sistemde rassal olmayan politikalar altında karın kontrol parametrelerine göre değişimi

Algoritma’da Adım 3’te yapılan lokal aramanın (rassal olmayan) optimal politikayı verip vermeyeceği bilinmemekle beraber, karın S_1 , K_1 , Z_1 , T_1 ’e göre değişimi incelendiğinde (bkz. Şekil 7), her bir değişken üzerinden dışbükey bir yapı gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle lokal aramanın rassal olmayan optimal çözümü vermesi beklenebilir.

Adım 3’ün kara etkisi Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3: Algoritmada Adım 3’ün Adım 2’de elde edilen kar üzerindeki iyileştirmesi

Çözücü	Başlangıç Noktası Sayısı	Kar artışı elde edilen örnek sayısı	Kar azalışı elde edilen örnek sayısı
Baron	144	33	0
Snopt/ MinosD	432	142	5

Tablo 3’te 5 örnekte Adım 3 sonucunda karda rassal politikaya kıyasla azalma olduğu görülmektedir. Kardaki azalmanın sebebi rassal politikanın rassal olmayan politikaya dönüştürülmesidir. Ancak kardaki azalmanın ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Diğer durumlar altında Adım 3’ün rassal politika altında elde edilen karda belirgin bir artışa neden olduğu görülmüştür. Bunun nedeni lineer olmayan modelin çözümünün lokal optimal’de kısıtlı kalması ve elde edilen karın optimale kıyasla oldukça düşük olmasıdır. Lineer olmayan modelin çözümündeki hassasiyetin ve tutarsızlığın etkisinin Adım 3 ile azaltılması beklenmektedir.

4.3 Sayısal Analiz

Bilgi paylaşımının geitisini ölçmek için sayısal analiz yapılmıştır. Sayısal analiz için Bayi-2’nin envanter ve müşteri reddetme parametreleri $S_2 = 6$, $T_2 = -10$, müşteride birim getiri değeri, $R = 10$, envanter tutma maliyeti $c_h = 0,5$, müşteri bekletme maliyeti $c_\ell = 2$, Bayi-2 müşteri talebi $\lambda_2 = 0,5$, bayilerdeki üretim kapasitesi $\mu_1 = \mu_2 = 1$ olarak belirlenmiştir. Diğer parametreler için Tablo 4’deki parametre değerleri kullanılmıştır.

Tabloda (K_2, Z_2) için üç ayrı değer seviyesi belirlenmiştir. Bu seviyelere göre $(K_2, Z_2) = (3; 0)$ Bayi-2’nin parça isteme eğilimin yüksek, parça verme eğiliminin düşük olduğu duruma

Tablo 4: Gözlenemeyen sistem altında sayısal analiz için kullanılan parametre değerleri

Parametreler	r	(K_2, Z_2)	c_r	c_t	c_p	c_o	λ_1
Değerler	1,5,9, $r(j)$	(3;0),(2;-4),(-3;-5)	0;3	0;3	0;3	0;3	0,2;0,6;1,0

, yani *yüksek ikincil talep* olan duruma, $(K_2, Z_2) = (-3; -5)$ parça verme eğiliminin yüksek parça isteme eğiliminin düşük olduğu duruma, yani *yüksek ikincil kapasite* olan duruma, $(K_2, Z_2) = (2; -4)$ ise aradaki bir duruma karşılık gelmektedir. Komisyon ödemesinin j 'ye bağlı olduğu durum için $r(j) = 9 - \frac{j+10}{2}$ varsayılmıştır. Analizlerde tamamen gözlenebilen sistem gözlenemeyen sistem ile karşılaştırılmıştır. Toplam 576 parametre kombinasyonu için koşu alınmıştır.

Analizlerde bilgi paylaşımının getirisi $\frac{\pi_{TG}-\pi_{NG}}{\pi_{NG}} 100\%$ ile ölçülmektedir. Performans ölçüsünde, π_{TG} tamamen gözlenebilen sistem altında elde edilen ortalama beklenen kara, π_{NG} gözlenemeyen sistem altında elde edilen ortalama beklenen karar karşılık gelmektedir.

Parametrelerin bilgi paylaşımına getirisi incelenmeden önce iki temel gözlem sunulmuştur.

Gözlem 2 *Tamamen gözlenen sistem altında Bayi-1'in optimal kontrol politikası*

$(S_1(j), K_1(j), Z_1(j), T_1(j))$ ile gösterilebilir. Komisyon ödemesi j 'den bağımsız iken $S_1(j), K_1(j), Z_1(j), T_1(j)$ 'nin j ile azalan yapıya sahip olduğu, komisyon ödemesi j ile azalırken $S_1(j), T_1(j)$ 'nin j ile azalan olduğu, $K_1(j)$ ve $Z_1(j)$ 'nin ise j ile artan olduğu gözlenmiştir.

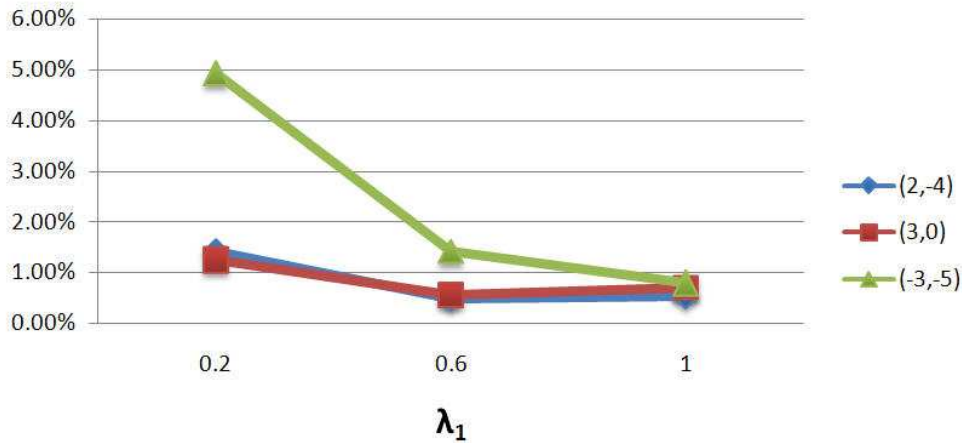
Kontrol değişkenlerinin davranışı şu şekilde açıklanabilir. Komisyon ödemesi sabit olduğunda Bayi-2'nin sadece stok seviyesi Bayi-1'in davranışını etkileyecektir. Stok seviyesi yüksek olduğunda, Bayi-2'nin kapasitesi daha güvenilir olduğundan Bayi-1 daha az stok tutma eğilimi gösterir ve müşterileri daha geç reddetmeye başlar. Ayrıca, Bayi-2'deki stok seviyesi yükseldikçe Bayi-2'nin parça isteme olasılığı azalır ve Bayi-1 parça verme seviyesini düşürür. Komisyon ödemesi Bayi-2'nin stok seviyesi ile düşüyorsa, bu durumda Bayi-2'deki stok seviyesi arttıkça Bayi-1 parça vermeye daha az istekli, parça istemeye daha istekli olacaktır. Bu da $K(j)$ ve $Z(j)$ seviyelerinde artışa neden olmaktadır.

Gözlem 3 *Bilgi paylaşımının getirisi değişken komisyon ödemesi altında yüksektir.*

Komisyon ödemesi değişken olduğunda Bayi-1'in parça isteme kararları $r(j)$ seviyesinden etkilenmekte ve bu durum ciddi oranda karı etkilemektedir. Bu nedenle j 'nin seviyesinin ne olduğu bilgisi Bayi-1 için önemli olmaktadır.

Bayi-1 müşteri talebinin bilgi paylaşımının getirisine etkisi

Değişken komisyon ödemesi altında, müşteri talebi arttıkça getirinin azaldığı görülmektedir. Bilgi paylaşımının getirisi yüksek ikincil kapasite altında göreceli olarak daha yüksek, yüksek ikincil talep altında daha düşüktür (Bkz. Şekil 8)

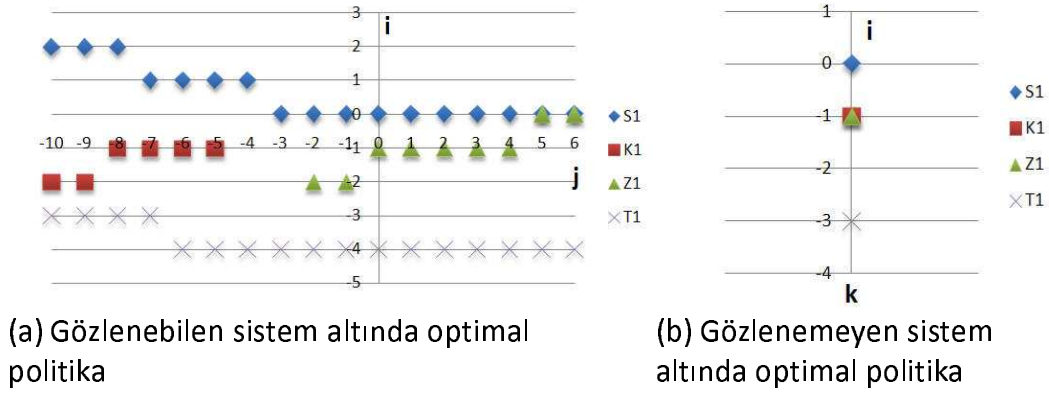


Şekil 8: Bayi-1 müşteri talebinin bilgi paylaşımının getirisine etkisi ($c_r = 0$, $c_t = 0$, $c_o = 0$, $c_p = 0$ alında)

Düşük Bayi-1 talebi ve yüksek ikincil talep altında $((K_2, Z_2) = (3; 0))$ bilgi paylaşımının getirisinin düşük olmasının nedeni gözlenebilen ve gözlenemeyen sistemler altındaki optimal politikaların incelenmesi ile anlaşılabilir. Gözlenebilen sistemde, değişken komisyon altında Bayi-2'nin yüksek stok seviyeleri için Bayi-1 stok tutmamakta ve gelen talebi Bayi-2'ye yönlendirmektedir, bunun nedeni düşük talep ve düşük komisyon ödemesinin stok tutmayı gerektirmemesidir. Düşük Bayi-2 stok seviyeleri için ise, komisyon ödemesi yüksek olduğundan Bayi-1 stok seviyesini artırırken parça isteği karşılama seviyesini düşürmektedir. Gözlenemeyen sistem için ise hangi durumlarda yüksek komisyon hangi durumlarda düşük

komisyon ödeneceği belirsiz olduğundan, Bayi-1 asıl sürecin kararlı durumdaki dağılımını göz önünde bulundurarak kontrol parametrelerini belirler. İkincil talep yüksek olduğundan stok tutmamak ve bütün talebi Bayi-2'ye yönlendirmek en karlı politika olmaktadır. Kararlı durumda düşük talep altında gözlenen ve gözlenemeyen sistem altında politikalar birbirine oldukça yakın olduğundan kar değerleri de birbirine yakın olarak gerçekleşmiştir.

Düşük ikincil talep altında $((K_2, Z_2) = (-3; -5))$ ise, gözlenebilen sistem altında politikada belirgin bir değişiklik olmazken, gözlenemeyen sistem ikincil talebin düşük olmasını göz önünde bulundurarak parça taleplerini karşılamak için K_1 seviyesini düşürmektedir. Buna göre, stok tutmak hala karlı olmamakta, yani $S_1 = 0$ olmakta, ancak K_1 ve Z_1 eksi değerler almaktadır. Yani müşterilerin sadece bir kısmı Bayi-2'ye yönlendirilebilmekte bu da müşteri bekletme maliyetini artırmaktadır. Bu durum gözlenebilen ve gözlenemeyen sistem arasındaki farkı artırmakta ve bilgi paylaşımının getirisi göreceli daha yüksek olmaktadır. Düşük ikincil talep ve düşük Bayi-1 müşteri talebi altında optimal politikalar Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9: Gözlenen ve gözlenemeyen sistem altında optimal politikalar (Parametreler: $(K_2, Z_2) = (-3, -5)$, $\lambda_1 = 0, 2$, $r(j)$, $c_r = 0$, $c_t = 0$, $c_p = 0$ ve $c_o = 0$)

Yüksek Bayi-1 müşteri talebi altında ise stok tutma seviyelerinin her iki sistem altında yüksek olduğu görülmüştür. Bunun yanısıra parça isteme ve parça isteği karşılama seviyeleri düşüktür ve gözlenebilen sistem altında j 'ye göre değişkenlik göstermemektedir. Bu nedenle j bilgisi Bayi-1 için gerekli olmamakta ve iki sistem altındaki kar birbirine yakın olmaktadır.

Sabit komisyon ödemesi altında bilgi paylaşımının getirisi %1 ile sınırlı olmaktadır. Örneğin,

komisyon ödemesi, $r = 9$ iken, yüksek ikincil talep altında bilgi paylaşımının getirisi göreceli olarak daha yüksek olmakta ve Bayi-1 müşteri talebi ile artış göstermektedir. Gözlenebilen sistem altında Bayi-1 parça isteğinde bulunmamakta (yani $Z_1 = T_1$ olmakta) ve S_1 ve K_1 arasındaki farkı yüksek tutarak Bayi-2'nin talebinden faydalanmak istemektedir. Gözlenemeyen sistem altında ise $T_1 < Z_1$ olmakta ve yüksek komisyon ödemesinden dolayı bu durum getiri kaybına neden olmaktadır.

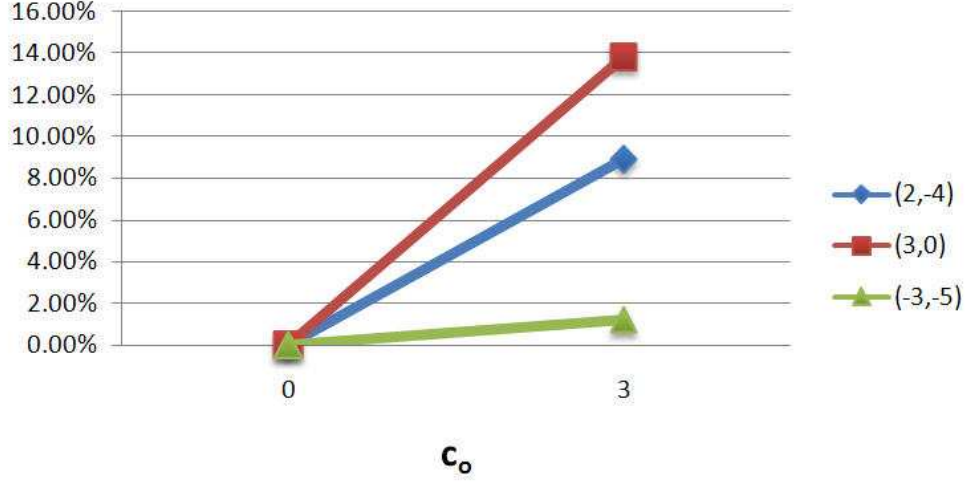
İsmarlama maliyetinin, c_o , etkisi

İsmarlama maliyetinin bilgi paylaşımının getirisi üzerinde özellikle üretim maliyetinin yüksek olduğu durumda etkisi belirgindir. Öncelikle üretim maliyeti ve düşük Bayi-1 talebi altında gözlenebilen sistemde kontrol parametrelerinin j ile değişmediği, ve sonucunda gözlenemeyen sistem altındaki kontrol parametrelerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Örneğin $\lambda_1 = 0, 2$, $r = 1$ ve $c_p = 3$ iken $S_1(j) = K_1(j) = Z_1(j) = 0$ ve $T_1(j) = -3$ olmaktadır. Her iki sistemde aynı politikanın uygulanmasının sebebi düşük talep ve düşük birim getiri (net getiri $R - c_p$ 'dir) altında Bayi-1'in stok tutmak istememesi ve talebi Bayi-2'ye yönlendirmeyi tercih etmesidir. Gözlenemeyen sistem bazı durumlarda ısmarlama maliyeti ödemek durumunda kaldığı için bu sistem altında kar düşmektedir. Kar düşüşü özellikle düşük ikincil kapasite altında gerçekleşmektedir (Bkz. Şekil 10).

Müşteri reddetme maliyetinin, c_r , etkisi

Müşteri reddetme maliyetindeki artış, üretim ve ısmarlama maliyeti var iken bilgi paylaşımının getirisini artırmakta, aksi halde etkilememektedir. Üretim ve ısmarlama maliyeti yokken, değişken komisyon ödemesi ve düşük Bayi-1 talebi altında gözlenemeyen sistem $c_r = 0$ ve $c_r = 3$ altında aynı politikayı vermektedir. Bu durum bütün ikincil kapasite değerleri için gözlenmektedir. Bu gözlemden sistemin T_1 durumunda nadiren bulunduğu ve müşteri reddetme oranının çok düşük olduğu, bu nedenle müşteri reddetme maliyetinin karı etkilemediği anlaşılmaktadır. Aynı durum gözlenebilen sistem altında da görülmektedir. Bu nedenle c_r 'dek değişikliğin bilgi paylaşımının getirisine etkisi olmamaktadır (Bkz. Şekil 11(a)).

Yüksek üretim ve ısmarlama maliyeti altında ise, $r = 1$ ve $\lambda_1 = 1$ iken, müşteri reddetme

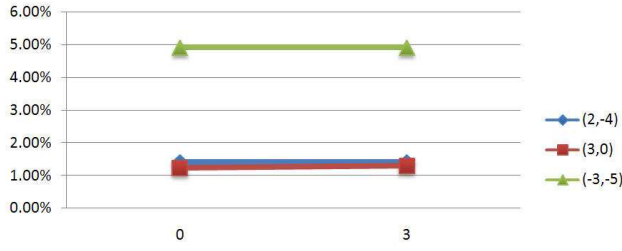


Şekil 10: Ismarlama maliyetinin bilgi paylaşımının getirisine etkisi (Parametreler: $\lambda_1 = 0, 2$, $r = 1$, $c_r = 0$, $c_t = 0$, ve $c_p = 3$).

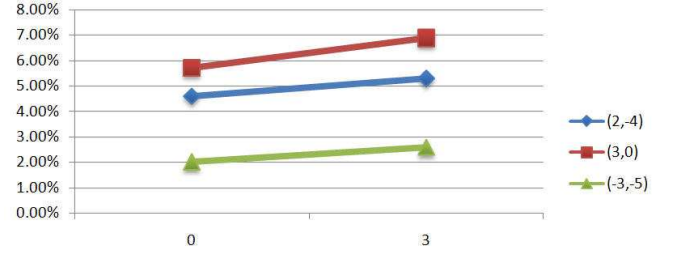
maliyeti 0'dan 3'e yükseldiğinde bilgi paylaşımının getirisi artmaktadır. Bu durum için $c_r = 0$ ve $c_r = 3$ altında gözlenemeyen sistemde politikaların aynı olduğu görülmektedir. Gözlenebilen sistem altında ise $S_1(j)$ ve $K_1(j)$ seviyeleri yükselirken $T_1(j)$ seviyesi c_r 'deki artış ile düşmektedir. Bu nedenle c_r 'deki artış bilgi paylaşımının getirisini artırmaktadır. Buna ek olarak bilgi paylaşımının getirisinin ikincil kapasitedeki artış ile azaldığı görülmektedir. Ismarlama maliyeti $c_o = 3$ varsayıldığında, gözlenemeyen sistem altında parça transferi yapılmadan ortaya çıkan maliyet ikincil kapasite düşükken daha yüksek olmaktadır. Bu nedenle düşük ikincil maliyet altında bilgi paylaşımının getirisinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 11(b)).

Üretim maliyetinin, c_p , etkisi

Üretim maliyeti arttıkça sistem şartlarına göre bilgi paylaşımının getirisi artabilir ya da azalabilir. Bayi-1 müşteri talep hızı yüksek ve komisyon ödemesi yeterince düşük ise ($r = 1$ ya da $r = 5$), getiri üretim maliyeti ile artar. Gözlenebilen sistemde üretim maliyeti arttıkça, Bayi-1 daha az stok tutar ve özellikle düşük komisyon ödemesi altında Bayi-2'ye daha az parça gönderir ya da hiç parça göndermemeye başlar. Gözlenemeyen sistemin ise üretim maliyetindeki artışa esnek bir tepki veremediği, stok ve tayınlama seviyelerini



(a) $\lambda_1=0.2$, $r(j)$, $c_t=0$, $c_p=0$, $c_o=0$ altında c_r 'nin bilgi paylaşımının getirisine etkisi



(b) $\lambda_1=0.1$, $r=1$, $c_t=0$, $c_p=3$, $c_o=3$ altında c_r 'nin bilgi paylaşımının getirisine etkisi

Şekil 11: Müşteri reddetme maliyetinin bilgi paylaşımının getirisine etkisi

düşürmesine rağmen Bayi-2'ye parça göndermeye devam ettiği görülmektedir. Bu nedenle bilgi paylaşımının getirisi üretim maliyetindeki artış ile artmaktadır.

Parça transfer maliyetinin, c_t , etkisi

Hemen hemen bütün sistem şartları altında, parça transfer maliyeti arttıkça bilgi paylaşımının getirisinin azaldığı görülmektedir. Parça transfer maliyeti sadece parça transferi gerçekleştiğinde ortaya çıkan bir maliyettir. Buna göre birim maliyetin artması Bayi-1'in Bayi-2'den parça isteme oranını düşürmektedir. Sistem havuzlamanın olmadığı bir sisteme dönüştüğü için Bayi-2'deki stok bilgisi önemini yitirmektedir.

5 İki bayiden oluşan bir sistemde sezgisel politikalar altında denge analizi, ve merkezi sistemle karşılaştırması (İş Paketi-3)

İş Paketi-1'de Bayi-2'nin politikası göz önünde bulundurularak, bilgi paylaşımı altında Bayi-1'in optimal politikası belirlenmiş ve sistem parametreleri ve havuzlama politikalarının kara etkisi incelenmiştir. İş Paketi-2'de bilgi paylaşımının olmamasının (Bayi-2'nin stok seviyesinin gözlenememesinin) Bayi-1'in politikasına ve karına etkisi incelenmiştir. İlk iki iş paketinde sadece Bayi-1'in optimal politikaları ve karı üzerinde çalışılmıştır. İş Paketi-3 ve İş Paketi-4'te ise bağımsız bayilerin birbirleri ile etkileşim içinde olduğu durum analiz edilmektedir.

İş Paketi-3'te bağımsız bayilerin karşılıklı etkileşim sonucunda politikalarının bir denge noktasına ulaşacağı varsayımı altında politikalar ve karlılık incelenmiştir. Merkezi olmayan sistem altındaki kar merkezi sistem altındaki kar ile kıyaslanmış, ve bayiler arasındaki rekabetin kara etkisi tartışılmıştır. İş Paketi-3 altında yapılan çalışmalar 3. dönem sonu itibarıyla tamamlanmış ve bulgular raporlanmıştır. Bu sonuç raporunda yapılan çalışmaların bir özeti sunulmaktadır.

İş Paketi-1'de yapılan analizler sonucunda Bayi-2'nin statik bir politikasına cevaben Bayi-1'in optimal politikasının yapısının dinamik olduğu görülmüştü. İş Paketi-3'te bayinin müşteriye reddetme seçeneğinin de olduğu varsayılmıştır. Buna göre Bayi-2'nin (S_2, K_2, Z_2, T_2) politikası ile çalıştığı varsayıldığında, Bayi-1'in optimal dinamik politikası $(S_1(j), K_1(j), Z_1(j), T_1(j))$ ile ifade edilebilir. $T_1(j)$ müşteri reddetme seviyesine karşılık gelmektedir. Bayiler arasındaki etkileşim altında kar incelenirken iki bayi için de dinamik optimal politika varsayımı analizi güçleştirebilmektedir. Bayi-2'nin dinamik politikasına Bayi-1'in nasıl bir politika ile cevap vereceği incelenmemiştir, ancak $S_1(j), K_1(j), Z_1(j)$ ve $T_1(j)$ 'nin monoton olmayan bir yapıya sahip olabileceği öngörülmektedir. Bu uygulamada zorluk çıkaracak bir politikadır, statik bir politika ise envanter yönetimi için daha anlaşılır bir politika olması nedeni ile avantaja sahiptir. Dinamik politika varsayımının bir diğer zorluğu bayiler arasındaki etkileşim analiz edilirken politikaların bir dengeye ulaşmayabileceğidir. Bu zorluklar göz önünde bulundurularak bayilerin statik politikalar altında çalıştığı varsayılmış, analizler bu varsayım altında yapılmıştır. Bir bayinin statik politikası belirlenirken, diğer bayinin politikasına cevaben belirlediği optimal dinamik politika baz alınmıştır.

Yapılan sayısal çalışma sonucu statik politika varsayımı altında bayi etkileşimi sonucu denge politikalarına ulaşılabilirdiği görülmüştür. Buna göre Bayi-1, Bayi-2'nin herhangi bir politikası için (statik) S_1, K_1, Z_1, T_1 değerlerini belirler. Daha sonra Bayi-2, Bayi-1'in bu politikasına karşılık en iyi statik politikasını belirler. Denge noktasına yakınsayana kadar etkileşim devam eder. İş Paketi-3'te bayiler hem rekabet hem işbirliği halindedir. Bu iki etkenin ortak etkisinin ne olacağı analizlerle ortaya konmaktadır.

5.1 Bir bayi için optimal statik politikanın belirlenmesi

İş Paketi-1’de Bayi-1 için statik politika belirlenirken $S1$, $K1$, $Z1$ değerleri $0 < S1 < \max S1(j)$, $\min K1(j) < K1 < S1$, $\min Z1(j) < Z1 < K1$ uzayında taranmış, her bir $S1, K1, Z1$ değeri için karın ne olacağı hesaplanmış ve en yüksek kar getiren değerler seçilmiştir. Değerlerin sınırlarda çıkması durumunda sınırlar genişletilmiştir. Bu yöntemin oldukça zaman alan bir yöntem olduğu görülmüştür. 4-boyutlu $(S1, K1, Z1, T1)$ politikasının belirlenmesinde sınırlı bir uzayın bütünüyle aranması verimsiz bir yöntem olacaktır. Bu nedenle kısa zamanda iyi sonuçlar verebilecek, Politika İterasyonu (sonsuz-ufuklu Markov Karar Süreçleri için tanımlı) algoritmasını kullanan bir algoritma geliştirilmiştir.

Aşağıda algoritmanın adımları verilen bir $(S2, K2, Z2, T2)$ politikası için Bayi-1’in en iyi statik politikasının belirlenmesi çerçevesinde anlatılmaktadır.

- Adım 1- Bayi-1 için herhangi bir statik başlangıç politikası ile başlanır (deneylerde farklı başlangıç politikaları denendiğinde yakınsama noktasının etkilenmediği görülmüştür).
- Adım 2- Politika iterasyonu algoritmasına göre bu başlangıç politikası altında (her bir başlangıç durumu için) toplam beklenen iskonto edilmiş kazanç değeri bulunur. Bu değerler göz önünde bulundurularak her durum için değeri en çoklayan karar belirlenir. Bu kararlar (i, j) ’ye göre değişkenlik gösterebilir. Sistemin en fazla vakit geçirdiği j durumları belirlenerek (iskontolu değer altında) bu durumlar altındaki “statik” $(S1, K1, Z1, T1)$ değerleri aday politika olarak belirlenir. Bu aday politika bir önceki ile aynı ise Adım 3’e geçilir. Aksi halde $(S1, K1, Z1, T1)$ son değerlere göre güncellenir ve Adım 2 tekrarlanır.
- Adım 3- Adım 2’de bulunan politika başlangıç noktası olarak alınarak “en hızlı yükseliş” (steepest ascent) algoritması kullanılarak (“statik” politikalar üzerinde) bir lokal optimal sonuç elde edilir.

5.2 Sayısal bulgular ve algoritmanın performansı

5.2.1 Simetrik bayilerin analizi

Sayısal analizde etkileşim altında bayilerin karlılığının sistem parametreleri ile nasıl değiştiği incelenmiştir. İlk aşamada bayilerin simetrik olduğu varsayılmıştır. Analizde kullanılan parametreler Tablo 5’te sunulmuştur. Toplam 750 koşu yapılmıştır.

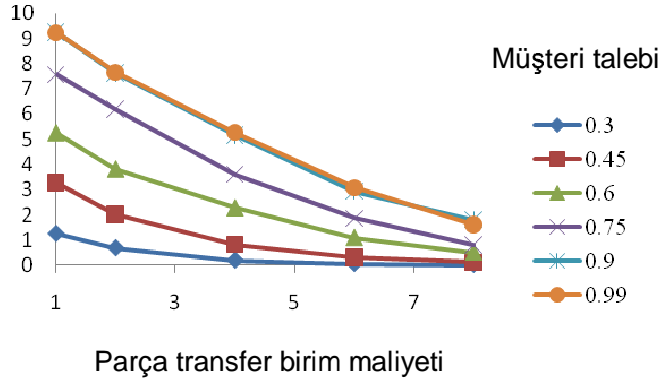
Tablo 5: Etkileşimli sistem altında sayısal analizde kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değerler
$\lambda_1 = \lambda_2$	$\{0, 3; 0, 45; 0, 6; 0, 75; 0, 9; 0, 99\}$
$\mu_1 = \mu_2$	$\{1\}$
R	$\{10\}$
r	$\{1; 3; 4, 5; 6; 9\}$
c_h	$\{0, 1; 0, 5; 1; 2; 4\}$
c_l	$\{2\}$
c_r	$\{5\}$
c_t	$\{1; 2; 4; 6; 8\}$

Buna göre denge politikasına ulaşıldığı durumlarda bayilerin optimal politikaları ve karları aynı olmaktadır. 750 koşudan 61’inde birden fazla denge noktasına ulaşıldığı görülmüştür. 7 koşuda denge noktasına ulaşılamamakta, en iyi kararlar döngüsel bir yapıya sahip olmaktadır. Bu 7 koşu için eyer noktası (saddle point) rassal politikalar ile elde edilebilmektedir.

Taşıma maliyetinin havuzlamanın getirisine etkisi

Şekil 12’de taşıma maliyetinin havuzlamanın (%) getirisine etkisi görülmektedir. Beklendiği gibi taşıma maliyeti arttıkça havuzlamanın getirisi azalmaktadır. Ancak özellikle müşteri geliş hızının yüksek olmadığı durumlarda taşıma maliyetinin etkisi ihmal edilebilir düzeyde olmaktadır. Düşük müşteri talebi altında bayiler arasındaki rekabetin/oyunun etkisi ile parça isteği oldukça düşük seviyede gerçekleşmektedir. Müşteri talebi arttıkça havuzlama oranı artmakta ve taşıma maliyetinin getiri üzerindeki etkisi daha baskın olmaktadır.

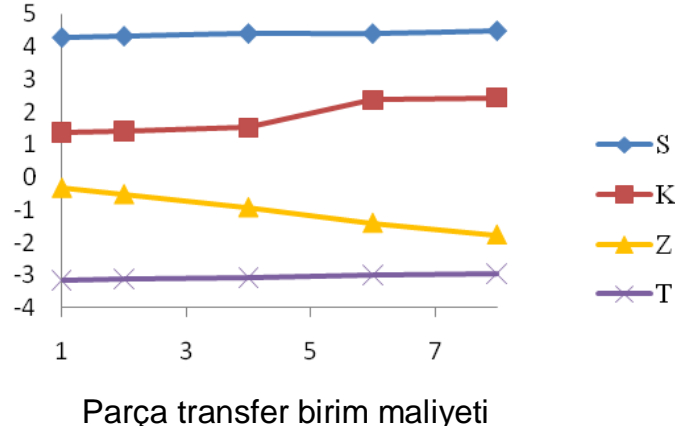


Şekil 12: Taşıma maliyetinin (c_t) bayi karlılığına etkisi (diğer parametreler üzerinde ortalama alınmıştır.)

Taşıma maliyetinin S , K , Z , T kontrol değişkenleri üzerindeki etkisi Şekil 13’de görülmektedir. S seviyesinin düşük komisyon ödemeleri altında taşıma maliyeti ile arttığı, yüksek ödemeler altında taşıma maliyeti ile azalma eğiliminde olduğu gözlenmiştir (yüksek müşteri talebi altında). K seviyesi artma ya da azalma eğilimi gösterebilmektedir. Bu eğilim komisyon ödeme miktarına, envanter tutma maliyetine ve müşteri geliş hızına bağlı değişmektedir. Z ’nin ise her parametre değeri altında taşıma maliyeti arttıkça azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. T ’nin her parametre değeri altında taşıma maliyeti arttıkça arttığı gözlenmiştir, yani sisteme daha az müşteri kabul edilmektedir. Buna göre taşıma maliyetinin artması Z ve T ’yi yakınlştırır, yani parça isteme seçeneğini daha seyrek kullanmasına neden olmaktadır. Son olarak sistemde bekleyen müşteri sayısının ve gelen müşterileri reddetme oranının taşıma maliyeti ile arttığı görülmüştür.

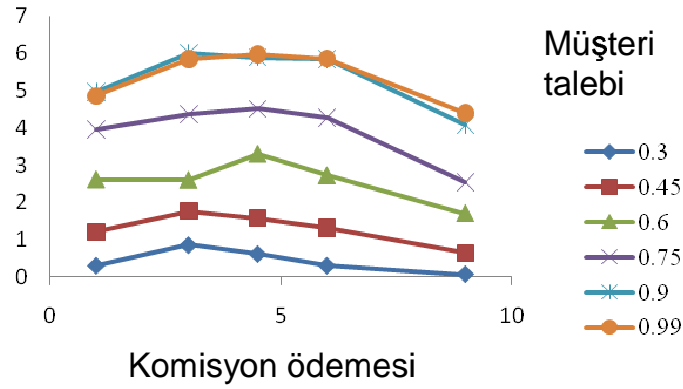
Komisyon ödemesinin (r) etkisi

Komisyon ödemesinin uç değerlerinde havuzlamanın getirisinin düşük olduğu görülmektedir. Bayi-2’nin herhangi bir politikası için Bayi-1’in optimal politikası düşünüldüğünde ya Bayi-1’den Bayi-2’ye parça akışı ya da Bayi-2’den Bayi-1’e parça akışı daha yüksek olmakta, bu durumda Bayi-1 tarafından ödeme miktarının ya en düşük ya da en yüksek olduğu seviyeler tercih edilmektedir. Bayiler arasında etkileşim olduğunda, bir bayi yüksek ödeme miktarını tercih ettiğinde diğer bayi düşük ödeme miktarını tercih etmekte ve kararlarını değiştirmektedir. Etkileşimin etkisi ile, bayiler en düşük ya da en yüksek ödeme seviyelerini



Şekil 13: Taşıma maliyetinin (c_t) S, K, Z, T kontrol değişkenleri üzerinde etkisi (diğer parametreler üzerinde ortalama alınmıştır).

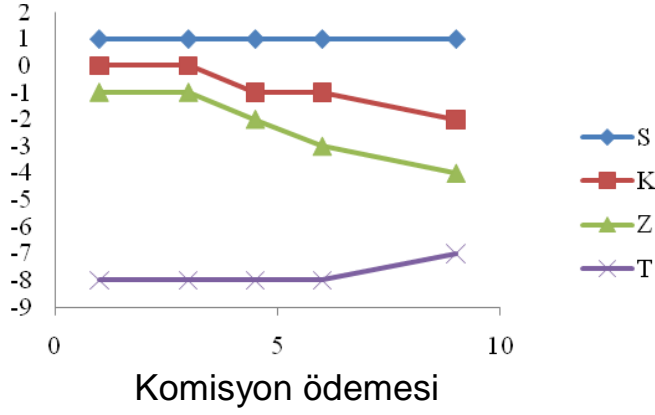
tercih etmemektedirler (Bkz. Şekil 14).



Şekil 14: Komisyon ödemesinin havuzlamanın % getirisi üzerindeki etkisi (parametreler üzerinden ortalama alınmıştır.)

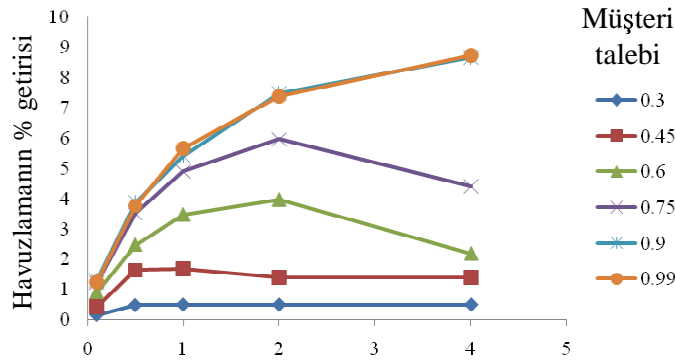
Ödeme miktarının değişmesinin S üzerinde baskın bir etkisi görülmemektedir S, r ile sabit kalmaktadır. K ve Z ise r arttıkça azalmaktadır. Buna göre r çok düşük değerlerinde K ve Z yüksektir, yani bayiler parça transfer isteklerini karşılamakta isteksiz olurken, sık sık parça transfer isteğinde bulunmaktadırlar. Öte yandan r 'nin yüksek değerlerinde bayiler parça transfer isteklerini karşılamak isterken, parça transfer isteğinde bulunmamaktadırlar (Bkz. Şekil 15). Bunun sonucunda r 'nin uç değerlerinde bayiler arası parça akışı oldukça düşük seviyede gerçekleşmekte ve havuzlamanın getirisi düşük olmaktadır.

Envanter tutma maliyetinin (h) etkisi



Şekil 15: Komisyon ödemesinin kontrol parametreleri üzerindeki etkisi ($\lambda_1 = 0,45$, $h = 1$, $c_t = 2$)

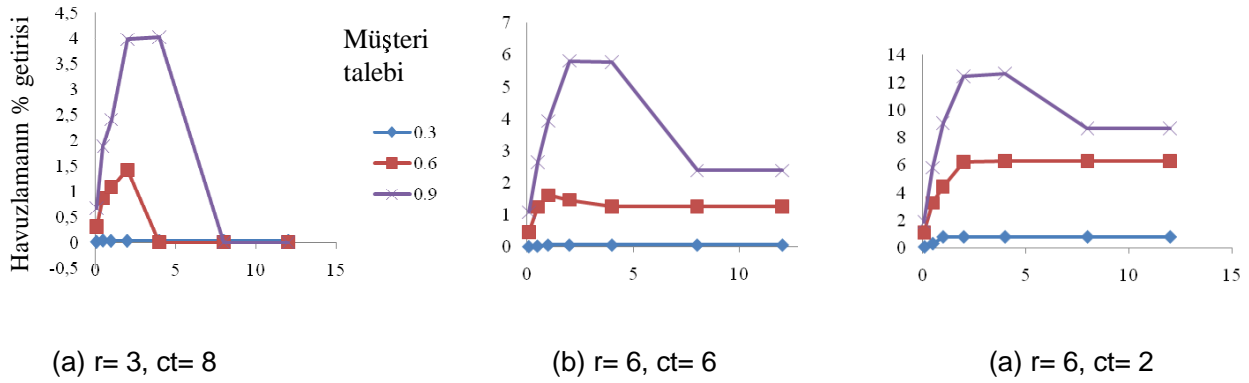
Envanter tutma maliyeti arttıkça kontrol değişkenlerinin değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Envanter tutma maliyetinin kontrol parametreleri üzerinde etkisi yüksek müşteri talebi altında daha belirgindir. Şekil 16'da envanter maliyetinin havuzlamanın getirisi üzerindeki etkisi görülmektedir. Buna göre maliyet arttıkça getiri önce artmakta daha sonra azalmaktadır. Düşük müşteri talebi altında, maliyet arttıkça envanter seviyeleri hızla 0'a yaklaştığı için getiri artan h ile değişmemektedir. Yüksek müşteri talebi altında ise yüksek envanter seviyeleri tutulduğundan, envanter maliyetindeki artış havuzlamanın getirisini artırmaktadır.



Şekil 16: Envanter maliyetinin havuzlamanın getirisi üzerindeki etkisi (parametreler üzerinde ortalama alınmış)

Düşük müşteri talebi altında, envanter maliyetinin artması havuzlamanın getirisini yok edebilir ya da belirli bir seviyeye düşürebilir. Müşteri talebi düşükse, komisyon ödemesi düşük olduğunda havuzlamanın getirisi artan envanter maliyeti ile 0'a yakınsamaktadır. Müşteri

talebi düşükse, yüksek komisyon ödemesi altında ve düşük parça transfer maliyeti altında, havuzlamanın getirisi envanter maliyeti artsa bile her zaman positif olmaktadır. Müşteri talebi düşük iken yüksek komisyon ödemesi havuzlama için bir motivasyon sağlamakta, ancak parça transfer maliyeti ve envanter maliyeti yüksek olduğunda getiri sıfırlanmaktadır. Yüksek müşteri talebi altında ise, envanter maliyetinin artması havuzlamanın getirisini yok etmese de yüksek komisyon ödemesi ve yüksek parça transfer maliyeti getirinin azalmasına neden olabilmektedir (Bkz. Şekil 17).



Şekil 17: Farklı komisyon ödemeleri ve parça transfer maliyetleri altında, envanter maliyetinin havuzlamanın getirisi üzerindeki etkisi

Algoritmanın performansının ölçülmesi

Sayısal analiz için MATLAB programlama dili kullanılmış, dengeye ulaşan her bir koşunun sonucunun alınması ortalama 120sn sürmüştür.

Etkileşimde sadece bir bayi için performans ölçülmüştür, toplam 750 ölçüm yapılmıştır. Algoritmada politika iterasyonu adımı (2. adım) 750 koşudan 345'inde lokal optimali bulmak için yeterli olmuştur. 750 koşudan 650'inde lokal optimalin aranması adımı (Adım 3) sadece 0.1% iyileştirme sağlamıştır. Algoritmada Adım-2 için ortalama 2.88 politika iterasyonu yeterli olmuştur. Algoritmanın Adım-3 ile iyileştirme sağladığı durumlar S 'in yüksek olduğu durumlardır, yani düşük $c_h (= 0.1)$ ve yüksek müşteri hızı ($\lambda_1 = \lambda_2 \geq 0.75$) ile tanımlanan durumlardır.

Simetrik durum altında sonuçlar

Simetrik bayiler varsayımı altında bulguların özetlenmesi gerekirse, havuzlamanın getirisinin %0 – %17 arasında değiştiği görülmüştür. Yüksek getiri (\geq %10), yüksek müşteri talebi, düşük parça transfer maliyeti ve ortalama envanter maliyet değerleri altında görülmektedir. Beklenen sistemde bekleyen müşteri sayısı ya da envanter miktarı gibi performans ölçüleri havuzlama altında daha düşük ya da daha yüksek olabilir. Ancak müşteri reddetme oranının havuzlama altında her zaman daha düşük olduğu görülmüştür. Son olarak müşteri talebinin yüksek olduğu durumlarda havuzlamanın daha çok yapıldığı görülmüştür. Özellikle yüksek komisyon ödemesi altında müşteri talebinin artması havuzlamanın getirisini artırmaktadır.

5.2.2 Asimetrik bayilerin analizi

Bayilerin asimetrik olması havuzlamanın getirisinin ölçeğini önemli ölçüde artırmıştır. Bunun nedeni bayilerin tamamlayıcı özellikte bulunmaları durumunda havuzlamadan çok yüksek getiri elde edebilmeleridir. Örneğin bir bayiye gelen talep az, diğerine çok ise, ya da bir bayinin envanter tutma maliyeti düşük, diğerinde ise yüksekse havuzlama bayilere faydalı olmaktadır.

Analizde kullanılan parametre değerleri Tablo 6’de sunulmuştur.

Komisyon ödemesinin etkisi

Komisyon ödemesinin uç değerlerinde havuzlamanın getirisinin düşme eğilimi gösterdiği görülmektedir. Asimetrik bayilerde Bayi-1’deki talep yüksek iken ($\lambda_1 = 0,9$), düşük komisyon ödemeleri altında Bayi-2’nin talebini düşük olması Bayi-1 için daha kazançlı olmaktadır. Yüksek komisyon ödemeleri altında ise, Bayi-1 yüksek Bayi-2 talep seviyeleri altında daha karlı olmaktadır.

Envanter maliyeti ve bekletme maliyetinin etkisi

Bayi-1 için havuzlamanın getirisi incelendiğinde, düşük ve yüksek envanter maliyeti altında havuzlamanın getirisinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni envanter maliyeti düşük olan bayinin diğer bayiye parça transferi yapması ve her iki durumda da havuzlamanın getiri sağlamasıdır. Benzer şekilde, bekletme maliyetleri bayiler arasında oldukça

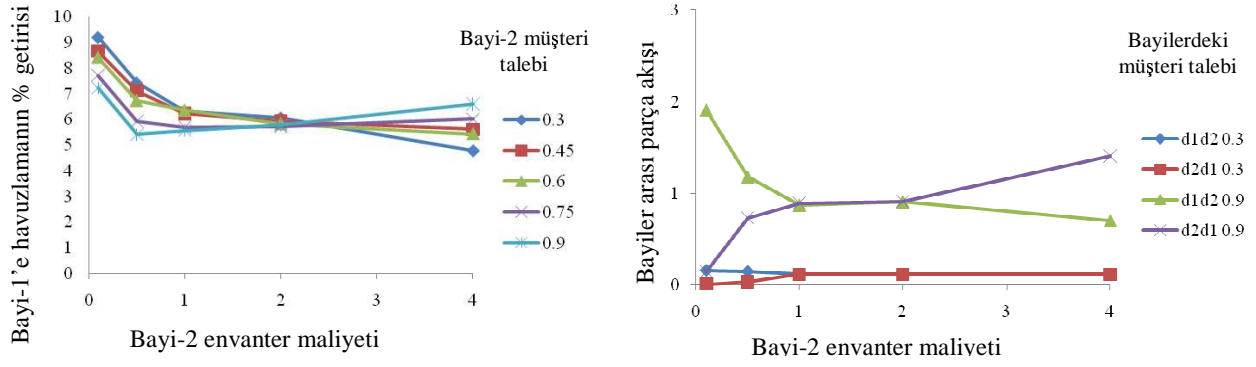
Tablo 6: Etkileşimli sistemde asimetrik bayiler altında sayısal analizde kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değerler
λ_1	$\{0, 3; 0, 9\}$
λ_2	$\{0, 3; 0, 45; 0, 6; 0, 75; 0, 9\}$
$\mu_1 = \mu_2$	$\{1\}$
R	$\{10\}$
r	$\{1; 3; 4, 5; 6; 9\}$
$c_h 1$	$\{1\}$
$c_h 2$	$\{0, 1; 0, 5; 1; 2; 4\}$
$c_l 1$	$\{2\}$
$c_l 2$	$\{0, 2; 1; 2; 4; 8\}$
c_r	$\{5\}$
c_t	$\{1; 2; 4; 6; 8\}$

farklı olduğunda düşük maliyetli bayi diğer bayiye hizmet sağlamakta, ve havuzlamanın getirisi yüksek olmaktadır. Havuzlamanın getirisinin en düşük olduğu durum bayilerin simetrik olduğu durum olmaktadır (Bkz. Şekil 18(a)). Havuzlamanın getirisinin envanter maliyeti ile nasıl değiştiğini bayiler arasındaki akış miktarından da anlamak mümkündür. Özellikle yüksek talep altında envanter maliyetleri birbirlerinden farklılaştıkça, bir bayiden diğerine akış miktarı artmaktadır (Bkz. Şekil 18(b)).

Müşteri talebinin etkisi

Müşteri talebinin artması havuzlamanın getirisini artırabilir ya da azaltabilir. Bayi-1'deki müşteri talebi düşükse, Bayi-2'de müşteri talebindeki artış Bayi-2'ye havuzlamanın getirisini artıracaktır. Bayi-1'deki müşteri talebi yüksekse, Bayi-2'de düşük talepler altında havuzlamanın getirisi yüksek olmaktadır.



Şekil 18: Bayi-2 envanter maliyetinin havuzlama getirisi ve bayiler arasındaki akış üzerinde etkisi

5.3 Merkezi sistem ile merkezi olmayan sistemin karşılaştırılması

Merkezi olmayan sistemde bayiler arasında rekabet olması bayilerin toplam karını merkezi sisteme göre azaltmaktadır. Merkezi sistem altında, bilgi paylaşımı altında bayilerin optimal politikasını $(S_1(j), K_1(j), Z_1(j), T_1(j), S_2(i), K_2(i), Z_2(i), T_2(i))$ olarak tanımlamak mümkündür.

Buna göre

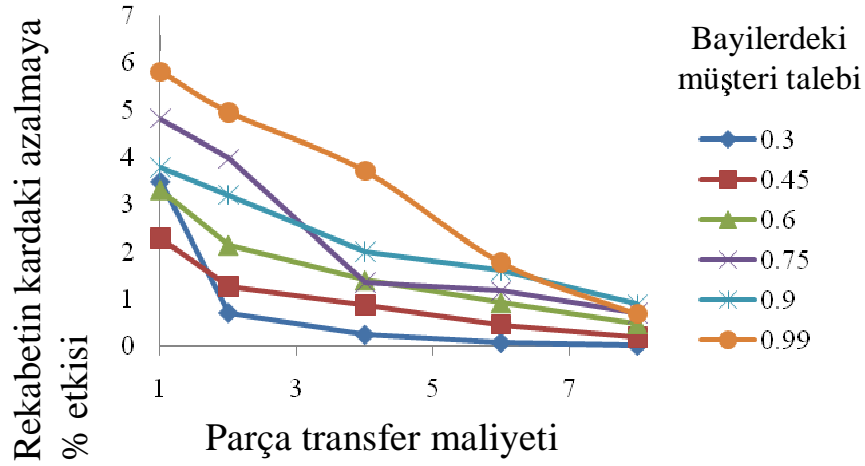
$S_1(j), K_1(j), Z_1(j), T_1(j)$ kontrol değişkenlerinin varlığı ve $S_1(j)$ ve $T_1(j)$ 'nin j ile azalan $K_1(j)$ ve $Z_1(j)$ 'nin j ile artan olduğu analitik olarak gösterilebilir. Merkezi sistem altında bayilerin karı bulunurken bayilerin merkezi olmayan sistemdeki gibi statik politikalar altında çalıştığı varsayılmıştır. Statik politika merkezi olmayan sistemde kullanılan algoritmaya benzer bir algoritma ile elde edilmiştir.

Şekil 19'de rekabetin kar üzerindeki etkisinin parça transfer maliyeti ile değişimi görülmektedir.

Buna göre parça transfer maliyeti arttıkça merkezi sistemin merkezi olmayan sisteme yakınsadığı, K değerinin arttığı, Z değerinin azaldığı, yani bayilerin parça transferini azaltarak daha bağımsız hareket ettiği görülmektedir.

Rekabetin kar üzerindeki negatif etkisi en fazla düşük parça transfer maliyeti, yüksek envanter tutma maliyeti, yüksek müşteri talebi altında görülmektedir.

Merkezi sistemde havuzlamanın getirisi merkezi olmayan sisteme göre daha yüksektir (ortalamada %4,53'e kıyasla %2,54). Rekabetin kar üzerindeki azaltıcı etkisi ortalamada %1,94 olarak gerçekleşmiş, kardaki en yüksek azalma %13,8 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 19: Parça transfer maliyetinin rekabetin karı azaltması üzerindeki etkisi

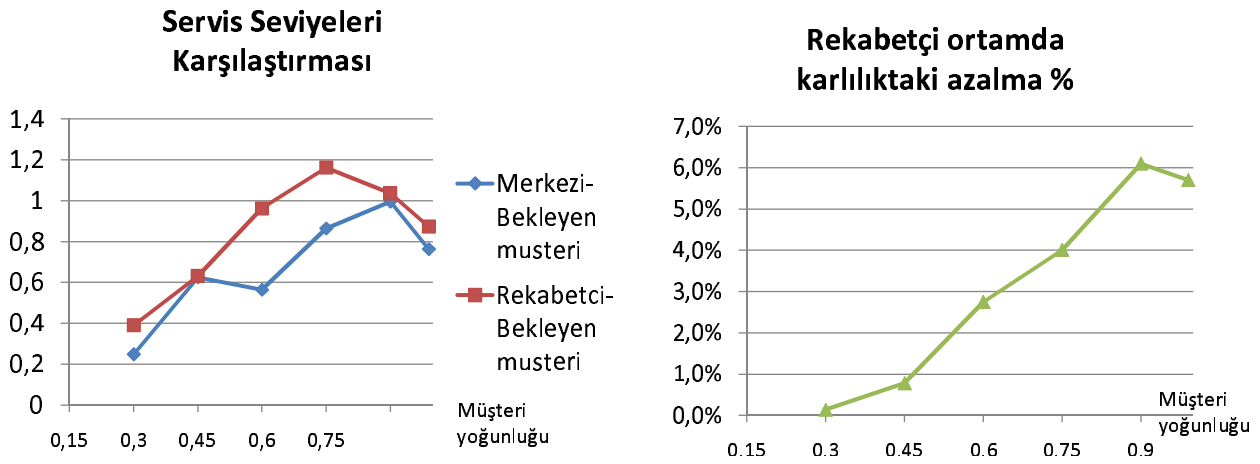
6 İki bayi ve iki üretim tesisinden oluşan, merkezi olmayan bir sistemi, merkezi sisteme yakınsatacak teşvik mekanizmalarının analizi (İş Paketi-4)

Tedarik zincirinin koordinasyonu, tedarik zinciri yönetimi alanında bir araştırma kolu olarak ortaya çıkmaktadır. Birden çok oyuncunun (karar vericinin) yer aldığı tedarik zincirlerinde, her bir karar verici kendi karını eniyilemeye çalışmakta, bu da tedarik zincirinin performansını olumsuz etkilemektedir. Tedarik zincirinin koordinasyonu, oyuncular arasında kontratlar ve/veya teşvik mekanizmaları tasarlayarak karar vericilerinin eniyileme kararlarının tedarik zincirinin performansını eniyileyecek kararlarla örtüşmesini sağlar. Tedarik zinciri koordinasyonu konusunda yapılan çalışmalar 1980'lere dayanmaktadır. Bu alanda yapılmış en temel çalışmalardan biri olarak Pasternack (1985) gösterilebilir. Cachon (1999) tedarik zincirinin koordinasyonu alanında yapılmış çalışmaların bir özetini vermekte ve bu alanda çalışılmış temel modelleri incelemektedir.

Yedek parça yönetim sisteminde üreticinin amacı servis seviyesinin yüksek olmasıdır. Eğer üretici yedek parça sistemini merkezi olarak yönetiyorsa, bu durumda satıştan elde edilen gelir, stok tutma maliyeti ve servis seviyesi kararları üretici tarafından belirlenip bayilere

iletilecektir. Öte yandan bayiler bağımsız olarak çalışıyorsa, stok maliyetleri bayiler tarafından karşılanacak ve sonucunda servis seviyesi de bayiler tarafından bağımsız olarak belirlenecektir. Bayiler, yapılan her yedek parça satışı üzerinden üreticiye bir miktar ödeme yapabilir, fakat bayilerin bağımsız olduğu durumda üreticinin bayilerin kararlarına doğrudan etki etmesi mümkün olmayacaktır.

Bayilerin üreticiden bağımsız olduğu ve aralarında rekabetin olduğu bir ortamda bayilerin karlılığının ve servis seviyesinin rekabettten olumsuz etkilendiği görülmektedir (Bkz. Şekil 20(a) ve 20(b)).



Şekil 20: Rekabetçi ve merkezi sistemler altında bayilerin servis seviyelerinin (bekleyen müşteri sayılarının) ve karlılıklarının karşılaştırılması.

Satıştan elde edilen gelir ve servis seviyesi üretici için önemli olduğundan, bayilerin bağımsız ve rekabetçi bir ortamda çalışması üreticinin performansını da olumsuz etkilemektedir. Bayiler arasındaki rekabeti azaltmak, ve satışı artırmak için üreticilerin pratikte bazı teşvik mekanizmaları uyguladığı görülmektedir. Örneğin, üreticiler belirli bir satış seviyesini sağlamak için kota uygulaması yapmaktadır (Örneğin, Türkiye’de faaliyet gösteren büyük bir otomotiv firması bayilerinden yerli araçlar için her 15 günde bir ve ithal araçlar için her 30 günde bir kotalara uygun olarak sipariş almakta, kotaların miktarı bayilerin önceki ay satışlarına ve yerlerine göre belirlenmektedir. Bunun yanı sıra müşteri memnuniyeti için prim verilmekte ve bayi hedeflenen satış rakamına ulaştığında indirim yapılmaktadır). Ya da bayiler arasında stok transferini teşvik etmek için parça transfer ücretini üretici karşılayabilmektedir.

Bu iş paketinde, tedarik zincirinin koordinasyonu için olası teşvik mekanizmalarının tedarik zinciri ve oyuncuların performansları üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Tedarik zincirinde koordinasyonu tam olarak sağlayan mekanizmaların tasarlanması ancak basit modeller altında (tek ya da iki dönemli, gazeteci çocuk (newsvendor) tipi modeller) mümkün olmaktadır. Çalışılan modelin karmaşık yapısı koordinasyon mekanizmalarının tam anlamıyla tasarlanmasına izin vermemekte, ancak sayısal analizler yapmayı mümkün kılmaktadır.

Analizler için iki bayiye ek olarak üreticinin de bir oyuncu olarak tedarik zincirinde yer aldığı varsayılmıştır. Diğer iş paketlerinde üretici sistemde yer almamakta iken, bu iş paketinde üretici için de bir kar fonksiyonu tanımlanmıştır. Ancak üretici sistemde karar verici olarak değil, bayilerin rekabet altındaki kararlarından etkilenen bir oyuncu konumundadır.

Bayilerin rekabet altında denge noktasına ulaşmaları sonucunda ortaya çıkan politikalar, bayilerin ve üreticinin karını belirlemektedir. Üreticinin karı satışlar, servis seviyesi (bekleyen müşteri sayısı) ve teşvik mekanizmaları ile belirlenmektedir. Benzer şekilde bayilerin karları da teşvik mekanizmalarından etkilenmektedir.

Öncelikle üreticinin bir oyuncu olarak tanımlı olmadığı ve teşvik mekanizmalarının bulunmadığı varsayımı altında, bayilerin kararlarının rekabet altında ve merkezi sistemde nasıl değiştiği analiz edilmiştir (Bkz. 3 no'lu gelişme raporu). Bu analize göre aşağıdaki karşılaştırma yapılabilir:

1. Merkezi sistem altında bayiler arası parça akışı çok daha yüksek seviyededir.
2. Stok tutma (S) ve müşteriye reddetme (T) seviyeleri merkezi ve rekabetçi sistem altında farklılık göstermemekteyken, parça isteğini kabul etme (K) ve parça isteme (Z) seviyeleri oldukça farklı olabilmektedir.
3. Düşük komisyon ödemesi altında, rekabet varken K değeri S değerine oldukça yakın olarak gerçekleşmektedir. Bunun nedeni düşük komisyon ödemesinin bayiler için cazip olmaması ve parça isteklerini daha sık reddetmek istemeleridir. Benzer biçimde, yüksek komisyon ödemeleri altında, rekabet varken, Z değeri T değerine oldukça yakındır. Bunun nedeni yüksek komisyon bedelinin parça isteme oranlarını azaltmasıdır. Merkezi sistemde ise K ve Z değerlerinin 0 civarında ve birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, teşvik mekanizmalarının merkezi olmayan sistem altında oldukça farklı olan K ve Z değerlerini birbirine yakınlaştırılması, öte yandan stok ve müşteri reddetme seviyelerini etkilemeyecek şekilde tasarlanması beklenebilir. Bunun sebebi bayilerin rekabet etmediği durumda karlılığın ve bekeleyen müşteri sayısının azalması, ve bunun üreticinin karlılığını artırması beklentisidir. Aşağıda belirtilen teşvik mekanizmalarının üretici tarafından önerildiği varsayılmış, ve bu mekanizmalara altında üretici, bayilerin ve sistemin karlılığı analiz edilmiştir.

Teşvik mekanizmaları:

1. *Bir bayinin diğer bayinin parça isteğini reddetmesi durumunda üreticiye ceza ödemesi* Bayi-1, stok durumu $\leq Z_1$ olduğunda diğer bayiden parça ister, ancak parça isteği diğer bayinin stok durumu $< K_2$ ise reddedilir. Bu durumda Bayi-2 (benzer durumda Bayi-1'in) üreticiye ceza öder.
2. *Üreticinin, bayilerin stok tutma maliyetinin bir kısmını sübvansetmesi* Bu teşvik sonucunda bayiler daha çok stok tutacaktır ve bu da satışları artıracaktır. Bunun sonucunda üreticinin satış gelirleri artacak, ancak üretici ek bir stok tutma maliyeti yüklenecektir. Bayilerin ise stok tutma maliyeti azalacaktır. Bu teşvik mekanizmasının bir benzeri pratikte de uygulanmaktadır. Örneğin, yukarıda bahsedilen otomotiv firması toplam stoğun belli bir yüzdesinin üreticideki stok alanında, kalan kısmının ise bayilerde tutulmasını talep etmektedir. Bu oranın bayiler lehine değiştirilmesi bayilerin stok maliyetlerini azaltabilir ve satışları artırmaya yönelik ürün gamı ve stok kararları vermeye yöneltebilir. Çalıştığımız problemde tek bir ürün/parça tipi varsayıldığından stok tutma maliyetinin azaltılması, maliyetin üretici tarafından karşılanması ile tanımlanmıştır.
3. *Gelirin paylaşılması* Üreticinin değişen oranlarda satış gelirinden pay aldığı varsayılmıştır. Üreticini satış gelirinden aldığı pay azaldıkça, bayiler daha yüksek seviyede stok tutabilir, daha az sayıda müşteriye reddedebilir ve bu da net geliri artırabileceğinden üretici tarafından daha fazla tercih edilen bir durum olabilir.
4. *Parça transfer maliyetinin üretici tarafından karşılanması* Her yanal taşıma gerçekleştiğinde maliyetin bir kısmının üretici tarafından karşılanması sonucunda bayiler arasındaki

parça transferinin artması bunun da satışları olumlu etkilemesi beklenebilir.

Bu teşvik mekanizmaları altında merkezi olmayan sistemde bayilerin ve üreticinin kar fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir (ifadelerde kullanılan parametreler Tablo 7’de verilmektedir):

Bayi’nin karı= $(g_b)(\text{bayinin kendi kaynağı ile yaptığı satış miktarı}) + (g_b - r)(\text{diğer bayi üzerinden yapılan satış miktarı}) + (r)(\text{diğer bayiye satılan miktar}) - (l_b)(\text{bayinin bekleyen müşteri sayısı}) - (rm)(\text{bayi tarafından reddedilen parça isteği sayısı}) - (h_b - h_u)(\text{bayinin stok miktarı}) - (c_t - c_{tu})(\text{bayi tarafından istenen ve gerçekleşen parça transfer sayısı}) - (c_r)(\text{reddedilen müşteri sayısı})$.

Üreticinin karı= $(g_u)(\text{toplam satış miktarı}) - (l_u)(\text{toplam bekleyen müşteri sayısı}) + (rm)(\text{toplam reddedilen parça isteği sayısı}) - (h_u)(\text{toplam stok miktarı}) - (c_{tu})(\text{toplam parça transfer sayısı})$

İfadelerde, g_b satıştan bayi tarafından elde edilen birim gelir, g_u üretici tarafından elde edilen birim gelir (teşvik mekanizmaları incelenirken $g_b + g_u$ ’nün sabit ve $R = 10$ ’a eşit olduğu varsayılmıştır), l_b ve l_u bekleyen müşterinin bayiye ve üreticiye maliyeti, r_m bayi tarafından ödenen parça reddetme maliyeti, h_b ve h_u bayinin birim stok tutma maliyeti ve üretici tarafından subvanse edilen miktar, c_r müşteri reddetme maliyeti, c_t ve c_{tu} yanal taşıma maliyeti ve üretici tarafından sübvans edilen miktara karşılık gelmektedir. Satış miktarı, bekleyen müşteri sayısı, vb. performans ölçüleri toplam beklenen iskontolu getiri kriteri (total expected discounted gain criteria) altında hesaplanan “beklenen” değerlerdir.

Toplam sistem karı ise bayilerin ve üreticinin kar toplamalarından oluşmaktadır:

Sistem’in karı= $(g_b + g_u)(\text{toplam satış miktarı}) - (l_b + l_u)(\text{toplam bekleyen müşteri sayısı}) - (h_b)(\text{toplam stok miktarı}) - (c_t)(\text{Parça transfer sayısı}) - (c_r)(\text{reddedilen müşteri sayısı})$.

6.1 Kullanılan yöntem

Bir önceki gelişme raporunda (Bkz. 3 no’lu gelişme raporu) teşvik mekanizmalarının analizinde iki ayrı yöntem kullanılabileceği belirtilmişti: (i) her iki bayinin de dinamik politika

Tablo 7: İş Paketi-4 için kullanılan parametre değerleri

Parametre	Değerler
g_b (bayi- birim gelir)	$\{0, 1; 2; 4; 6; 8; 10\}$
g_u (üretici- birim gelir)	$\{9, 9; 8; 6; 4; 2; 0\}$
r (Komisyon ödemesi)	$\{1; 6; 9\}$
l_b (bayi- bekletme maliyeti)	$\{2\}$
l_u (üretici- bekletme maliyeti)	$\{1\}$
h_b (bayi- stok tutma maliyeti)	$\{0, 8\}$
h_u (üretici- stok tutma maliyeti)	$\{0, 16; 0, 32; 0, 48; 0, 64; 0, 792\}$
c_t (parça transfer maliyeti)	$\{2; 6\}$
c_{tu} (üretici-parça transfer maliyeti)	$\{\%20, \%40, \%60, \%80, \%99\}$
rm (reddetme maliyeti)	$\{2; 4; 6; 8; 10\}$
c_r	$\{5\}$
λ (müşteri geliş hızı)	$\{0, 5\}$

kullandığı varsayılararak denge politikalarının belirlenmesi, (ii) bayilerin eniyi statik politika kullandıkları varsayımı altında denge politikalarının belirlenmesi.

Diğer iş paketlerinde yapılmış olan sayısal analizler sonucunda, bayilerin merkezi ve merkezi olmayan sistem altında statik politika kullandıkları varsayımının, elde edilen bulgulara bir değişikliğe yol açmayacağı öngörülmüştür. İş paketi-1’de yapılan analizlerde statik politikanın varsayılan parametreler altında dinamik politikadan belirgin olarak daha az karlı bir sonuç vermediği görülmüştü (örneklerin %90’ından fazlasında dinamik ve statik politikalar arasındaki fark %1, 5’ten küçüktür). İş paketi-2 ’de yapılan analizde karın S, K, Z, T değişkenlerine göre unimodal bir yapı gösterdiği görülmüştür. Bu durumda statik politikanın belirlenmesi için kullanılan politika iterasyonu ve lokal arama algoritmasının yaklaşık olarak eniyi S, K, Z, T değerlerini verdiği beklenmektedir. Bir diğer nokta da dinamik politikalar altında denge noktalarının bulunmasının zor olması ihtimalidir. Bu sebeplerden dolayı analizler statik politika varsayımı altında yapılmıştır.

6.2 Sayısal Analiz

Teşvik mekanizmalarının etkisi birbirinden bağımsız olarak analiz edilmiştir.

Reddetme cezasının (rm) etkisi

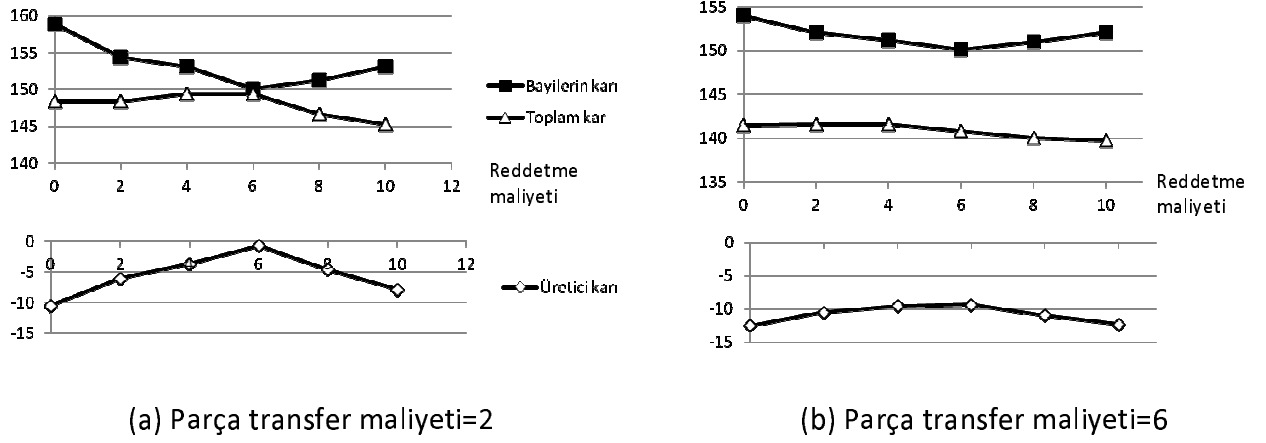
Merkezi sistem altında $c_t = 2$ iken $S = 1, K = 0, Z = 0$ ve $T = -4$ olduğu, $c_t = 6$ iken $K = 0, Z = -1, T = -3$ olduğu görülmüştür. Merkezi olmayan sistemde ise $S = 1, T = -6$ olduğu, K ve Z arasındaki farkın daha yüksek olduğu ve K ve Z değerlerinin merkezi sisteme göre daha düşük ya da eşit olduğu gözlenmiştir.

Reddetme cezasının S 'i etkilemediği, en büyük etkiyi K üzerinde gösterdiği görülmüştür. Reddetme cezası arttıkça, merkezi olmayan sistemde $S - K$ arasındaki fark artmakta, K , Z 'ye yaklaşmakta, Z azalmakta ve T artmaktadır. Buna paralel olarak bayiler arasındaki parça akışı düşük ve yüksek cezalar altında düşüken, orta seviyedeki cezalarda akış yüksek olmaktadır. Reddetme cezasına bayilerin tepkisi öncelikle tayın seviyesini artırarak daha fazla paylaşım yapmak, giderek artan ceza miktarı karşısında ise karşı bayiden parça istemeyi azaltarak ödenen cezayı dengelemek olarak açıklanabilir.

Şekil 21'de reddetme cezasının üretici, bayiler ve toplam sistem karı üzerindeki etkisi $c_t = 2$ ve $c_t = 6$ değerleri ve $r = 1$ altında görülmektedir. Merkezi olmayan sistemin orta seviyedeki reddetme cezası altında merkezi sisteme karlılık yönünden yaklaştığı görülmektedir. Bu durum parça akışındaki eğilim ile doğru orantılıdır. Farklı r değerleri altında ($r = 6; 9$) kar incelendiğinde reddetme cezası arttıkça merkezi sistemden uzaklaştığı görülmüştür. Bunun nedeni yüksek r değerleri altında K ve Z 'nin zaten T 'ye yakın olması ve reddetme cezasının K ve Z değerleri üzerindeki düşürücü etkisinin merkezi sistemden daha da uzaklaşmaya sebep olmasıdır. Son olarak reddetme cezasının 0 olduğu durumda üreticinin karının en düşük olduğu, reddetme cezasının 0'dan farklı olduğu durumlarda üretici karının daha yüksek olduğu görülmektedir. Reddetme cezası satış miktarını etkilememektedir. Yüksek reddetme cezaları altında, bekleyen müşteri sayısında bir artış görülmektedir. Z 'nin yüksek cezalar altında düşmeye başlaması, diğer bayinin kapasitesini etkin bir şekilde kullanmayı engellemekte, ve sonucunda müşteri memnuniyetini azaltmaktadır. Satış geliri, bekletme maliyeti ve reddetme cezasının net etkisi, üreticinin teşvik altında daha karlı olmasına neden olmak-

tadır ($r = 1$ altında).

Şekilde $r = 1$ altında, toplam karın merkezi sistem karına en yakın olduğu durumlar altında üreticinin karının da en çoklanabildiği ceza seviyeleri olduğu görülmüştür. Bu durumlarda hem sistemi koordine eden hem de üreticiyi iyileştirecek bir teşvik mekanizmasının olabileceği anlaşılmaktadır.

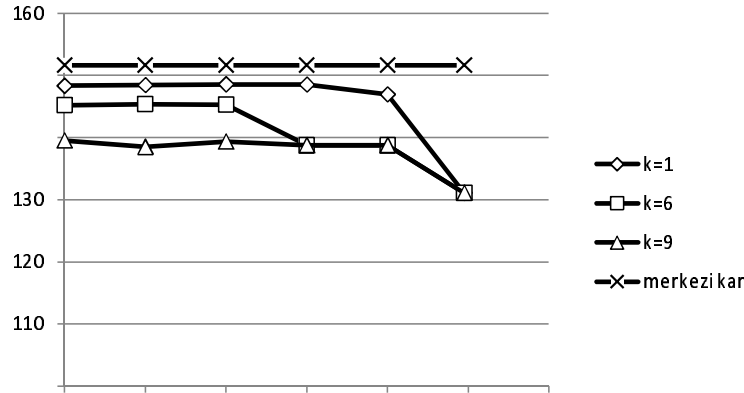


Şekil 21: Reddetme cezasının üretici, bayiler ve sistem karı üzerinde etkisi

Gelir paylaşımının etkisi

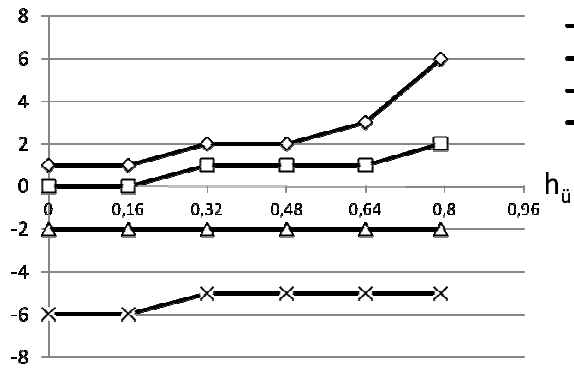
Gelir paylaşımının toplam sistem karına etkisi Şekil 22’de gösterilmiştir. Buna göre merkezi olmayan sistem altında karın en çoklandığı değerler gelir paylaşımının yaklaşık olarak $g_b = 4$ $g_u = 6$ ya da $g_b = 6$ $g_u = 4$ olarak paylaşıldığı değerlerdir. Bu değerler altında bayiler ve üreticinin karlılığının da birbirlerine yakın değerler aldığı görülmektedir. Bayilerinin birim gelirinin 0’a en yakın olduğu durum satışların en düşük olduğu ve bayiler arasındaki parça akışının gerçekleşmediği durum olmaktadır. Bu durum üretici için karlı olsa bile sistemin bütününe bakıldığında ve bayilerin karlılığı incelendiğinde, performansın en düşük olduğu durum olarak ortaya çıkmaktadır. Bayilerin birim geliri azaldığında, müşteriye reddetme seviyesi (T) belirgin bir şekilde artmaktadır. Bu artış satış miktarını %2 – 3 oranında azaltırken, bekleyen müşteri sayısını %60 civarında azaltmaktadır. Bunun sonucu olarak üreticinin karı, artan g_u miktarı ile artmaktadır.

Stok tutma maliyetinin etkisi

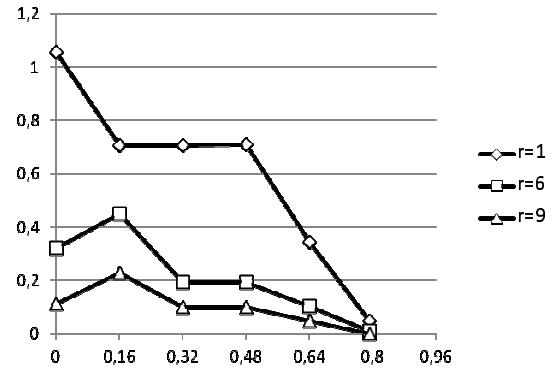


Şekil 22: Gelir paylaşımının sistem karı üzerinde etkisi

Stok tutma maliyetinin bir kısmının üretici tarafından üstlenilmesi S, K, Z, T değerlerini merkezi sistem altındaki değerlerinden uzaklaştırmaktadır. Stok tutma maliyetinin düşmesi bayiler arasındaki parça akışını azaltmakta, her bayi kendi talebini kendisi karşılamayı tercih etmektedir. Üretici tarafından üstlenilen maliyet oranı arttıkça S ve K değerleri belirgin şekilde artmakta, K ve Z arasındaki farkta da bir artış görülmektedir (Bkz. Şekil 23(a) ve (b)). Bu artış yüksek komisyon değerleri altında daha da belirgin olmaktadır.



(a) Üreticinin stok tutma maliyetinin S, K, Z, T üzerinde etkisi ($r=1, ct=2$)

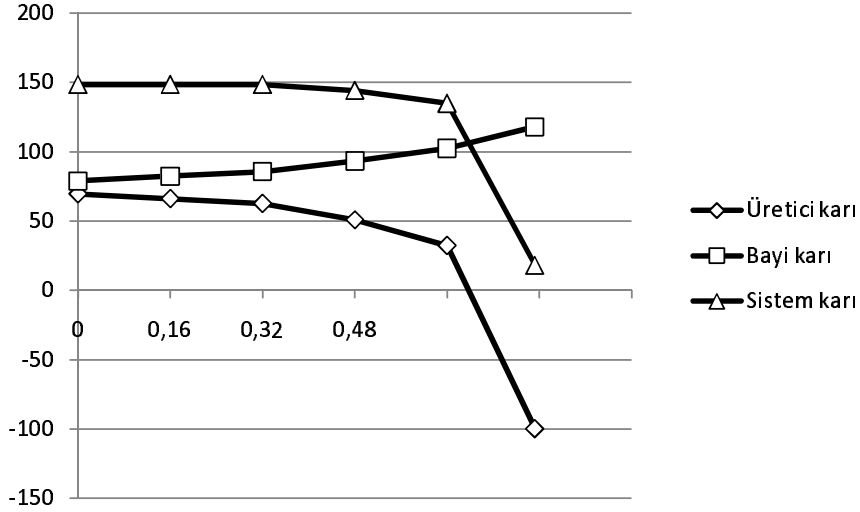


(b) Üreticinin stok tutma maliyetinin bayiler arası parça akışı üzerinde etkisi ($ct=2$)

Şekil 23: Üreticinin stok tutma maliyetinin karar değişkenleri ve parça akışı üzerine etkisi.

Üreticinin stok tutma maliyetini sübvansesi, bayilerin karını artırmakta, üreticinin karını azaltmaktadır. $g_b = 10$ ve $g_b = 6$ altında sübvansiyon, satışlar üzerinde belirgin bir artışa neden olurken bekleyen müşteri sayısını da belirgin bir şekilde azaltmaktadır. Bu etkinin üreticinin karı üzerinde olumlu bir etkisi olması beklense bile, stok tutma maliyetindeki

artış sübvansiyonu üretici için cazip kılmamaktadır. Sübvansiyonun sistem karı üzerindeki etkisi de S, K, Z, T ve parça paylaşımı üzerindeki etkisinden dolayı olumsuz olmaktadır (Bkz. Şekil 24).



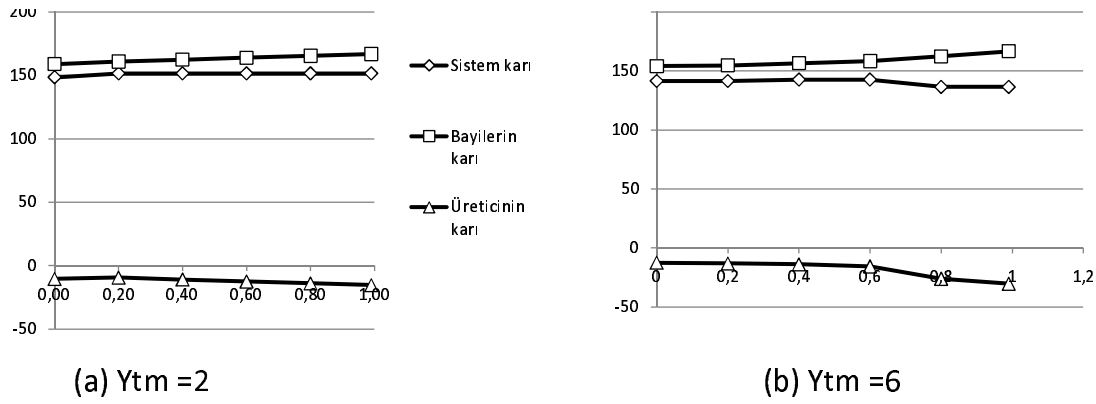
Şekil 24: Üreticinin stok tutma maliyetinin bayiler, üretici ve toplam sistem karı üzerindeki etkisi.

Parça transfer maliyetinin etkisi

Üreticinin bayiler arasındaki parça transfer maliyetinin bir kısmını karşılaması bayiler arasında parça akışının artmasına neden olmaktadır. Bu etki özellikle parça akışının düşük olduğu durumlarda belirgindir (örneğin, $c_t = 6$ iken). Düşük parça transfer maliyeti altında ($c_t = 2$) üretici tarafından yapılan sübvansiyon bayiler arası parça akışını artırmakta, bu bayilerin karını artırırken üreticinin karını önce artırıp sonra azaltmaktadır. Parça transfer maliyetinin bir kısmının üretici tarafından karşılanması sonucunda hem satışlar hem de bekleyen müşteri sayısı azalmaktadır. Ancak beklenen müşteri sayısındaki azalma üreticinin karını artırabilmektedir. Toplam sistem karı ise artmakta ve merkezi sistem altındaki kara oldukça yaklaşmaktadır (%0.1 mertebesinde). Parça transfer maliyeti düşük seviyede iken, üretici tarafından sübvansiyon yapılması bütün oyuncuların karını artırırken sistemi de merkezi sisteme yakınsatmaktadır (Bkz. Şekil 25).

Yüksek parça transfer maliyeti altında ise, sübvansiyon yine satış miktarı ve bekleyen müşteri sayısını aynı şekilde etkilese de, üreticinin karını belirgin bir şekilde düşürmektedir. Bu du-

rumda sübvansiyon arttikça toplam kar, merkezi sistem altındaki kardan uzaklaşmaktadır.



Şekil 25: Üreticinin para transfer maliyetinin bayiler, üretici ve toplam sistem karı üzerindeki etkisi. $c_t = 2$ iken %20 subvansiyon seviyesi altında hem bayilerin hem de üreticinin karı iyileşmektedir.

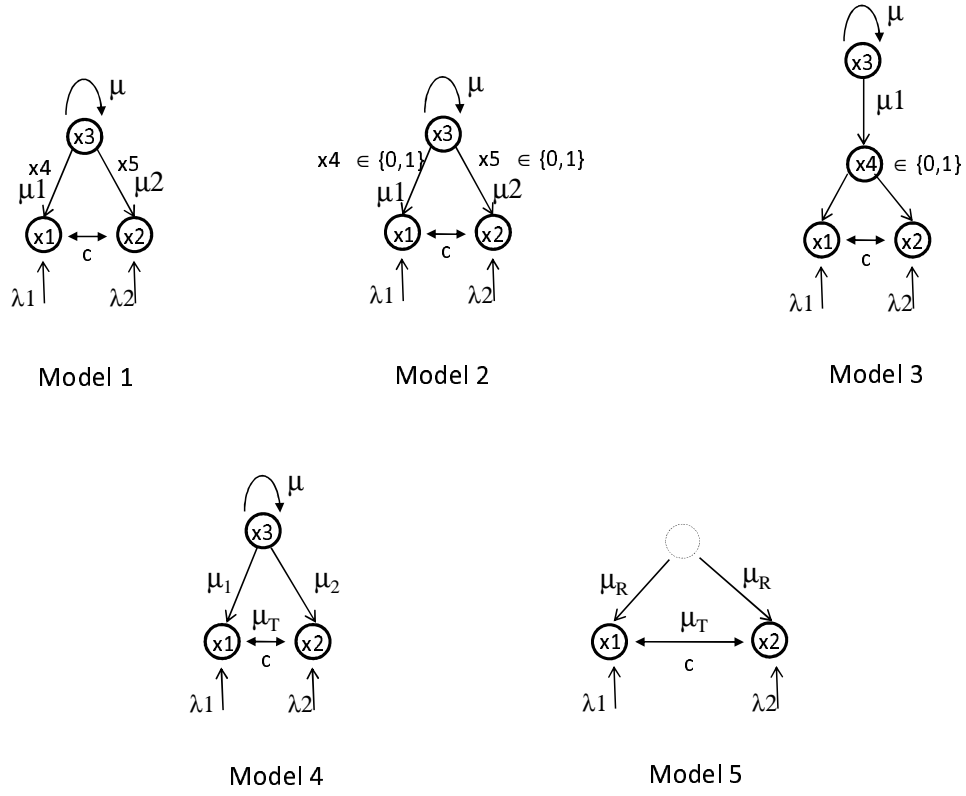
7 İki bayi ve tek bir üretim tesisinden oluşan merkezi bir sistemde optimal politikaların belirlenmesi, dinamik politikaların ve havuzlamanın fayda analizi, ve havuzlama tiplerinin bir karşılaştırması (İş Paketi-5)

Bu iş paketi, proje önerisinde “iki seviyeli servis ağlarında envanter havuzlamanın ve merkezileşmenin getirilerinin ölçülmesi” olarak tanımlanmıştır. Proje süresince diğer iş paketleri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda merkezi olmayan sistemin analizinin tek-seviyeli servis ağlarında bile oldukça zor olduğu görülmüş, analitik sonuçlar elde etmenin mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle İş Paketi-5 için analizler merkezi sistemle sınırlandırılmıştır (Bkz. 2 ve 3 no’lu Gelişme Raporu).

Bunun yanısıra İş Paketi-5 altında yapılan çalışmalar sonucunda iki seviyeli stokastik sistemler altında karar problemlerinin durum tanımındaki boyut büyüklüğünün, sistemi daha

iyi modellemeye imkan verse de analitik bulguların elde edilmesinde ve sayısal analizlerde zorluklara neden olacağı görülmüştür.

Bir önceki gelişme raporunda (3 no'lu gelişme raporu) iki bayi ve tek bir üretim tesisinden oluşan bir sistem için alternatif modeller önerilmişti. Önerilen dört modelden üçü sayısal analize imkan vermemekteydi. Model-4 altında üç boyutlu bir durum tanımlanmış (bayilerdeki ve üreticideki stok seviyeleri), üretim ve bayilere parça göndermenin rassal değişkenler olduğu varsayılmış, sayısal analizlerde kararların monotonluğu gözlenmişti. 4. dönemde yapılan çalışmalarda optimal politikaların kontrol-limit yapısına sahip olup olmadığı analitik olarak incelenmeye çalışılmıştır. İspat yöntemi olarak tümevarım belirlenmiştir. Politika yapısının gösterilmesi için değer fonksiyonunun yapısı üzerine önerilen yeter şartların sayısının çok fazla olduğu ortaya çıkmıştır, ve bu büyüklük analitik gösterime imkan vermemektedir. Bu nedenle yeni bir model (Model-5) önerilmiş ve çalışmalara bu model üzerinden devam edilmiştir (Önerilen beş model için bkz. Şekil 26). Model-5 altında üreticide stok tutulmadığı, bayilerin üreticideki kapasiteyi ortak olarak kullandığı varsayılmıştır. Model-5 altında Model 4'ten farklı olarak üreticinin stoğa/siparişe melez üretim (Make-to-stock and make-to-order hybrid production) yerine, sadece siparişe üretim yaptığı varsayılmıştır. Bu varsayım altında durum tanımını iki-boyutla yapmak mümkün olmuştur (Bayi-1 ve Bayi-2'deki stok seviyeleri). Üretim zamanının μ_R parametresi ile üssel olarak dağıldığı, bayilere müşteri gelişlerinin Poisson dağılıma sahip olduğu (λ_1 ve λ_2 parametresi ile) ve bayiler arasındaki parça transfer zamanının μ_T parametresi ile üssel dağıldığı varsayılmıştır. Bayilerdeki stok tutma maliyetinin h_1 ve h_2 olduğu, müşteri bekletme maliyetinin ℓ_1 ve ℓ_2 olduğu ve bayiler arası parça transfer maliyetinin c olduğu varsayılmıştır. Son olarak, Model-5 altında müşterilen reddilmediği varsayılmıştır. Amaç, sistem maliyetini enazlayan politikayı bulmak, yapısını ortaya çıkarmaktır.



Şekil 26: İş Paketi-5 için önerilen modeller

Model-5 altında optimallik denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned}
 v(x_1, x_2) &= \emptyset v(x_1, x_2) \\
 &= \frac{1}{\Lambda + \alpha} \left(\sum_{i \in \{1,2\}} h_i(x_i) + \lambda_1 v(x_1 - 1, x_2) \right. \\
 &\quad + \lambda_2 v(x_1, x_2 - 1) \\
 &\quad \left. + \mu_R \emptyset_1 v(x_1, x_2) + \mu_T \emptyset_2 v(x_1, x_2) \right).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Denklemden $h_i(x_i) = h_i x_i^+ + l_i x_i^-$, $\Lambda = \sum_{i \in \{1,2\}} (\lambda_i) + \mu_R + \mu_T$,

$$\emptyset_1 v(x_1, x_2) = \min_{\bar{a} \in \{0,1,2\}} \begin{cases} v(x_1 + 1, x_2) & \bar{a} = 1 \\ v(x_1, x_2 + 1) & \bar{a} = 2 \\ v(x_1, x_2) & \bar{a} = 0, \end{cases}$$

$$\emptyset_2 v(x_1, x_2) = \min_{-1 \leq a_T \leq 1} v(x_1 - a_T, x_2 + a_T) + |a_T| * c,$$

olarak tanımlanmıştır.

$\emptyset_1 v(x_1, x_2)$ üretim kararlarına karşılık gelmektedir. Buna göre üretici herhangi bir zamanda Bayi-1 için ya da Bayi-2 için üretme ya da üretmeme kararı verebilir. $\emptyset_2 v(x_1, x_2)$ bayiler arası parça transfer kararına karşılık gelir. Buna göre her hangi bir zamanda bir bayiden diğerine parça transfer kararı verilebilir ya da parça transferi olmayabilir.

7.1 Kullanılan Yöntem

Sistem maliyetini enazlayan politikanın yapısı aşağıdaki teoremle karakterize edilmiştir.

Teorem 1 *Model 5 için optimal politika altında aşağıdaki kontrol değişkenleri tanımlanabilir:*

$$S_1(x_2) = \min\{x_1 : v(x_1, x_2) \leq v(x_1 + 1, x_2)\},$$

$$S_2(x_1) = \min\{x_2 : v(x_1, x_2) \leq v(x_1, x_2 + 1)\},$$

$$K_1(x_2) = \min\{x_1 : v(x_1 + 1, x_2) \leq v(x_1, x_2 + 1)\},$$

$$K_2(x_1) = \min\{x_2 : v(x_1 + 1, x_2) \leq v(x_1, x_2 + 1)\},$$

$$T_1(x_2) = \min\{x_1 : v(x_1 - 1, x_2 + 1) + c \leq v(x_1, x_2)\},$$

$$T_2(x_1) = \min\{x_2 : v(x_1 + 1, x_2 - 1) + c \leq v(x_1, x_2)\}.$$

$S_1(x_2)$ ($S_2(x_1)$) $x_2(x_1)$ ile azalandır. $x_2(x_1)$ 'deki bir birim artış $S_1(x_2)$ ($S_2(x_1)$)'de en fazla bir birim azalışa neden olur. Ayrıca, $K_1(x_2)$ ($K_2(x_1)$) ve $T_1(x_2)$ ($T_2(x_1)$), $x_2(x_1)$ ile artandır.

Teorem 1'i ispatlamadan önce optimal politikanın yapısı hakkında bazı öngörüler sunulacaktır.

Üretim politikası ile ilgili öngörüler

Üretim kararları \bar{a} ile gösterilmekte ve $\{0, 1, 2\}$ değerlerini almaktadır. Bayi-1'de stok seviyesi (x_1) düşük iken $\bar{a} = 1$, x_1 arttıkça $\bar{a} = 2$, ve yüksek x_1 altında üretimin durması ($\bar{a} = 0$), ya da düşük x_1 'de $\bar{a} = 1$, yüksek x_1 'de $\bar{a} = 0$ anlamlı görünmektedir. Buna karşılık gelen yeter koşullar aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$v(x_1 + 1, x_2) - v(x_1, x_2) \geq v(x_1, x_2) - v(x_1 - 1, x_2) \quad (1)$$

$$v(x_1, x_2 + 1) - v(x_1, x_2) \geq v(x_1 - 1, x_2 + 1) - v(x_1 - 1, x_2) \quad (2)$$

$$v(x_1 + 1, x_2) - v(x_1, x_2 + 1) \geq v(x_1, x_2) - v(x_1 - 1, x_2 + 1) \quad (3)$$

Buna göre (1): x_1 iken $\bar{a} = 1 \succ 0$ ise, $x_1 - 1$ iken $\bar{a} = 1 \succ 0$, (2): $x_1 - 1$ iken $\bar{a} = 0 \succ 2$ ise, x_1 iken $\bar{a} = 0 \succ 2$, (3): x_1 iken $\bar{a} = 1 \succ 2$ ise, $x_1 - 1$ iken $\bar{a} = 1 \succ 2$, koşullarını ifade etmektedir. Bu koşullar, sırası ile, x_1 yükseldikçe, $1 \rightarrow 0$, $2 \rightarrow 0$, ve $1 \rightarrow 2$ sıralamasına işaret etmektedir.

Benzer şekilde x_2 yükseldikçe kararların $2 \rightarrow 1 \rightarrow 0$ ya da $2 \rightarrow 0$ sırasını takip etmesi beklenir. Bu sıralama ile ilgili yeter koşullar aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$v(x_1, x_2 + 1) - v(x_1, x_2) \geq v(x_1, x_2) - v(x_1, x_2 - 1) \quad (1')$$

$$v(x_1 + 1, x_2) - v(x_1, x_2) \geq v(x_1 + 1, x_2 - 1) - v(x_1, x_2 - 1) \quad (2')$$

$$v(x_1, x_2 + 1) - v(x_1 + 1, x_2) \geq v(x_1, x_2) - v(x_1 + 1, x_2 - 1) \quad (3')$$

(1'), (2') ve (3') koşulları (1), (2) ve (3)'ün Bayi-2 üzerinden simetrik koşullarıdır, ve sırası ile, x_2 yükseldikçe $2 \rightarrow 0$, $1 \rightarrow 0$, ve $2 \rightarrow 1$ sıralamasına işaret etmektedir.

Bayi-1 için S_1 , üretim yapmamanın Bayi-1'e üretim yapmaya tercih edildiği x_1 seviyesini gösterebilir. Açık ki $S_1(x_2)$, x_2 'nin bir fonksiyonudur. (1) ve (2') birlikte $S_1(x_2)$ 'nin x_2 'nin azalan bir fonksiyonu olduğuna işaret eder. Benzer şekilde, (2) ve (1') birlikte $S_2(x_1)$ 'in x_1 'nin azalan bir fonksiyonu olduğuna işaret eder.

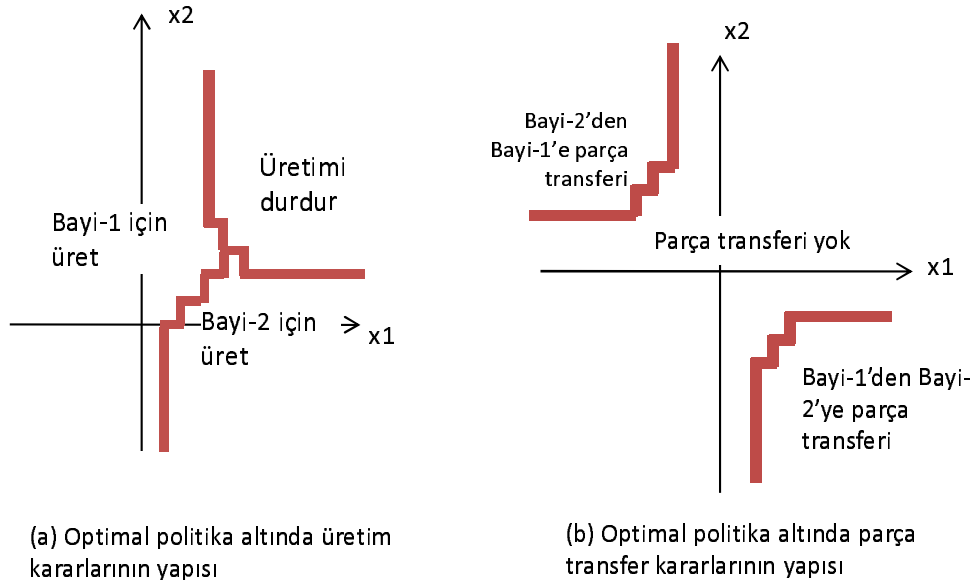
Bayi-1 için K_1 , Bayi-2 için üretim yapmanın Bayi-1 için üretim yapmaya tercih edildiği x_1 seviyesini gösterebilir. Açık ki $K_1(x_2)$, x_2 'nin bir fonksiyonudur. (3) ve (3') birlikte $K_1(x_2)$ 'nin x_2 'nin artan bir fonksiyonu olduğuna işaret eder. Benzer şekilde $K_2(x_1)$ de x_1 'in artan bir fonksiyonudur.

(3) ve (3') aynı zamanda x_2 (x_1)'deki bir birim artışın $S_1(x_2)$ ($S_2(x_1)$)'de en fazla bir birim azalışa sebep olabileceğini belirtir.

Parça transfer politikası ile ilgili öngörüler

Parça transfer kararlarının yapısı (3) ve (3') tarafından karakterize edilebilir. (3), (x_1, x_2) altında Bayi-1'den Bayi-2'ye parça transferi yapılması yapılmamasına tercih ediliyorsa, $(x + 1, x_2)$ altında da tercih edileceğine işaret eder. (3') aynı kararın simetriğini ifade eder. Bayi-1 için T_1 , Bayi-2'ye transfer yapmanın, yapmamaya tercih edildiği x_1 seviyesini gösterebilir. $T_1(x_2)$, x_2 'nin bir fonksiyonudur. (3) ve (3') $T_1(x_2)$ 'nin x_2 'nin artan bir fonksiyonu olduğuna işaret eder. Benzer şekilde, (3') ve (3) $T_2(x_1)$ 'in x_1 'in artan bir fonksiyonu olduğuna işaret eder.

Öngörülen üretim ve parça transfer politikaları Şekil 27'de görülmektedir.



Şekil 27: Optimal politika altında üretim ve parça transfer politikaları

İspat. Teorem 1'un ispatı için öncelikle aşağıdaki yardımcı önerme sunulacaktır.

Yardımcı Önerme 1 V , (x_1, x_2) üzerinde tanımlı (1)-(3) ve (1'-3') eşitsizliklerini sağlayan reel-değerli fonksiyonların kümesi olsun. Eğer $v \in V$ ise, $\emptyset v \in V$ 'dir ($\emptyset v$ (7)'deki gibi tanımlı).

İspat (Yardımcı Önerme 1). $\emptyset v \in V$ olduğunu göstermek için $\emptyset_1 v \in V$ ve $\emptyset_2 v \in V$ olduğu gösterilmesi yeterlidir. (2) ve (3), (1)'e işaret eder. (1')-(3'), (1)-(3)'ün simetriğidir. Bu nedenle $\emptyset_1 v$ ve $\emptyset_2 v$ 'nin (2) ve (3)'ü sağladığının gösterilmesi yeterli olacaktır.

$\emptyset_1 v$ 'nin (2)'yi sağlaması

$$w^1(1, x_1, x_2) = v(x_1 + 1, x_2)$$

$$w^1(0, x_1, x_2) = v(x_1, x_2)$$

$$w^2(2, x_1, x_2) = v(x_1, x_2 + 1)$$

olsun. Bu durumda $\emptyset_1 V(x_1, x_2) = \min_{u \in \{0,1,2\}} w^1(u, x_1, x_2)$. $\bar{a}_{x_1, x_2} = \arg \min w^1(u, x_1, x_2)$ olsun.

$\emptyset_1 v$ 'nin (2)'yi sağladığını göstermek için

$$\emptyset_1 v(x_1, x_2) + \emptyset_1 v(x_1 - 1, x_2 + 1) \leq \emptyset_1 v(x_1, x_2 + 1) + \emptyset_1 v(x_1 - 1, x_2)$$

olduğunu göstermek gerekir. u_1 ve u_2 ,

$$\emptyset_1 v(x_1, x_2 + 1) = w^1(u_1, x_1, x_2 + 1), \quad \emptyset_1 v(x_1 - 1, x_2) = w^1(u_2, x_1 - 1, x_2)$$

$\emptyset v \in V$ varsayımı altında analizi, 1. $u_1 = u_2$, 2. $u_1 = 0, u_2 = 1$, 3. $u_1 = 0, u_2 = 2$, 4. $u_1 = 2, u_2 = 1$, 5. $u_1 = 1, u_2 = 2$ için yapmak yeterli olacaktır.

1. $u_1 = u_2$

$$\begin{aligned} \emptyset_1 v(x_1, x_2) + \emptyset_1 v(x_1 - 1, x_2 + 1) &\leq w^1(u_1, x_1, x_2) + w^1(u_1, x_1 - 1, x_2 + 1) \\ &\leq w^1(u_1, x_1, x_2 + 1) + w^1(u_1, x_1 - 1, x_2) \\ &= \emptyset_1 v(x_1, x_2 + 1) + \emptyset_1 v(x_1 - 1, x_2) \end{aligned}$$

Diğer durumların analizi benzer şekilde yapılabilir. Buna göre $\emptyset_1 v$ (2)'yi sağlamaktadır.

$\emptyset_2 v$ 'nin (2)'yi sağlaması

$$w^2(1, x_1, x_2) = v(x_1 - 1, x_2 + 1) + c$$

$$w^2(0, x_1, x_2) = v(x_1, x_2)$$

$$w^2(-1, x_1, x_2) = v(x_1 + 1, x_2 - 1) + c$$

olarak tanımlansın. Buna göre, $\emptyset_2 V(x_1, x_2) = \min_{u \in \{-1, 0, 1\}} w^2(u, x_1, x_2)$. $a_{x_1, x_2}^T = \arg \min w^2(u, x_1, x_2)$ olsun.

$\emptyset_2 v$ 'nin (2)'yi sağladığını göstermek için

$$\emptyset_2 v(x_1, x_2 + 1) + \emptyset_2 v(x_1 - 1, x_2) \geq \emptyset_2 v(x_1, x_2) + \emptyset_2 v(x_1 - 1, x_2 + 1)$$

sağladığını göstermek gereklidir. $u_1, u_2 \in \{-1, 0, 1\}$,

$$\emptyset_2 v(x_1 - 1, x_2) = w^2(u_1, x_1 - 1, x_2), \quad \emptyset_2 v(x_1, x_2 + 1) = w^2(u_2, x_1, x_2 + 1),$$

olarak tanımlansın.

$$\Delta_2 w^2(u, x_1, x_2) = w^2(u, x_1, x_2 + 1) - w^2(u, x_1, x_2)$$

olarak tanımlansın. Buna göre v 'nin (3')'nü sağladığı varsayımı altında,

$$\Delta_2 w^2(1, x_1, x_2) \geq \Delta_2 w^2(0, x_1, x_2) \geq \Delta_2 w^2(-1, x_1, x_2)$$

olduğu gösterilebilir. Yani w^2 , (u, x_2) üzerinde supermodülerdir. $\emptyset_2 v$ 'nin (2)'yi sağladığını göstermek için $u_1 \in \{-1, 0, 1\}$ ve $u_2 \in \{-1, 0, 1\}$ değerleri için eşitsizlik gösterilmelidir.

$$1.u_2 \geq u_1$$

$$\begin{aligned} \emptyset_2 v(x_1, x_2) + \emptyset_2 v(x_1 - 1, x_2 + 1) &\leq w^2(u_2, x_1, x_2) + w^2(u_1, x_1 - 1, x_2 + 1) \\ &\leq w^2(u_2, x_1, x_2) + w^2(u_1, x_1, x_2 + 1) + w^2(u_1, x_1 - 1, x_2) - w^2(u_2, x_1, x_2) \\ &\leq w^2(u_1, x_1, x_2) + w^2(u_2, x_1, x_2 + 1) + w^2(u_1, x_1 - 1, x_2) - w^2(u_2, x_1, x_2) \\ &= \emptyset_2 v(x_1, x_2 + 1) + \emptyset_2 v(x_1 - 1, x_2) \end{aligned}$$

İlk eşitsizlik w_2 'nin tanımından, ikincisi (3)'tenve üçüncüsü $w^2(\cdot)$ 'nin (u, x_2) altında supermodüler olmasından gelmektedir. Diğer u_1, u_2 değerleri için analiz benzer şekilde yapılabilir.

Buna göre $\emptyset_2 v$ (2)'yi sağlamaktadır.

$\emptyset_1 v$ 'in (3)'ü sağlaması

$\emptyset_1 v$ 'nin (3)'ü sağladığını göstermek için

$$\emptyset_1 v(x_1 + 1, x_2) + \emptyset_1 v(x_1 - 1, x_2 + 1) \geq \emptyset_1 v(x_1, x_2) + \emptyset_1 v(x_1, x_2 + 1)$$

olduğunu göstermek gereklidir. $u_1, u_2 \in \{0, 1, 2\}$

$$\emptyset_1 v(x_1 - 1, x_2 + 1) = w^1(u_1, x_1 - 1, x_2 + 1), \quad \emptyset_1 v(x_1 + 1, x_2) = w^1(u_2, x_1 + 1, x_2)$$

olarak tanımlansın.

$v \in V$ varsayımı altında u_1 ve u_2 şu değerleri alabilir: $u_1 = u_2$, 2. $u_1 = 1, u_2 = 0$, 3. $u_1 = 1, u_2 = 2$, 4. $u_1 = 0, u_2 = 2$, 5. $u_1 = 2, u_2 = 0$.

1. $u_1 = u_2$

$$\begin{aligned} \emptyset_1 v(x_1, x_2) + \emptyset_1 v(x_1, x_2 + 1) &\leq w^1(u_1, x_1, x_2) + w^1(u_1, x_1, x_2 + 1) \\ &\leq w^1(u_1, x_1 + 1, x_2) + w^1(u_1, x_1 - 1, x_2 + 1) \\ &\leq \emptyset_1 v(x_1 + 1, x_2) + \emptyset_1 v(x_1 - 1, x_2 + 1) \end{aligned}$$

Diğer durumlar da benzer şekilde gösterilebilir.

Buna göre $\emptyset_1 v$ 'in (ref3)'ü sağlar.

$\emptyset_2 v$ 'nin (3)'ü sağlaması

$\emptyset_1 v$ 'nin (2)'yi sağladığını göstermek için

$$\emptyset_2 v(x_1 + 1, x_2) + \emptyset_2 v(x_1 - 1, x_2 + 1) \geq \emptyset_2 v(x_1, x_2) + \emptyset_2 v(x_1, x_2 + 1)$$

olduğunu göstermek gereklidir. $u_1, u_2 \in \{-1, 0, 1\}$

$$\emptyset_2 v(x_1 - 1, x_2 + 1) = w^2(u_1, x_1 - 1, x_2 + 1), \quad \emptyset_2 v(x_1 + 1, x_2) = w^2(u_2, x_1 + 1, x_2),$$

olarak tanımlansın.

$$\Delta_1 w^2(u, x_1, x_2) = w^2(u, x_1 + 1, x_2) - w^2(u, x_1, x_2)$$

v 'nin (2)'yi sağladığı varsayımı altında

$$\Delta_1 w^2(1, x_1, x_2) \leq \Delta_1 w^2(0, x_1, x_2) \leq \Delta_1 w^2(-1, x_1, x_2)$$

olduğu gösterilebilir. Yani $w^2(u, x_1)$ üzerinde submodülerdir. $\mathcal{O}_2 v$ 'nin (3)'ü sağladığını göstermek için $u_1 \in \{-1, 0, 1\}$ ve $u_2 \in \{-1, 0, 1\}$ değerleri için eşitsizlik gösterilmelidir.

1. $u_2 \leq u_1$

$$\begin{aligned} \mathcal{O}_2 v(x_1, x_2) + \mathcal{O}_2 v(x_1, x_2 + 1) &\leq w^2(u_2, x_1, x_2) + w^2(u_1, x_1, x_2 + 1) \\ &\leq w^2(u_1, x_1, x_2 + 1) + w^2(u_2, x_1 + 1, x_2) + w^2(u_2, x_1 - 1, x_2 + 1) - w^2(u_2, x_1, x_2 + 1) \\ &\leq w^2(u_2, x_1, x_2 + 1) + w^2(u_2, x_1 + 1, x_2) + w^2(u_1, x_1 - 1, x_2 + 1) - w^2(u_2, x_1, x_2 + 1) \\ &= \mathcal{O}_2 v(x_1 + 1, x_2) + \mathcal{O}_2 v(x_1 - 1, x_2 + 1) \end{aligned}$$

Diğer eşitsizlikler benzer şekilde gösterilebilir. Buna göre $\mathcal{O}_2 v$ 'nin (3)'ü sağlar. \square

İspat (Teorem 1). $v \in V$ olduğu ispatlanması, v 'nin (1)-(3') sağladığı anlamına gelir. Bu eşitsizlikler $S_1(x_2) (S_2(x_1))$ 'in varlığına, $S_1(x_2) (S_2(x_1))$ 'in $x_2(x_1)$ ile azalan yapıya sahip olduğuna, $K_1(x_2) (K_2(x_1))$ 'in varlığına, $K_1(x_2) (K_2(x_1))$ 'in $x_2(x_1)$ ile artan yapıya sahip olduğuna, ve $T_1(x_2) (T_2(x_1))$ 'in varlığına, $T_1(x_2) (T_2(x_1))$ 'in $x_2(x_1)$ ile artan yapıya sahip olduğuna işaret eder. Buna göre $S_1(x_2) (S_2(x_1))$ $K_1(x_2) (K_2(x_1))$ ve $T_1(x_2) (T_2(x_1))$ teoremdaki gibi tanımlanır. \square

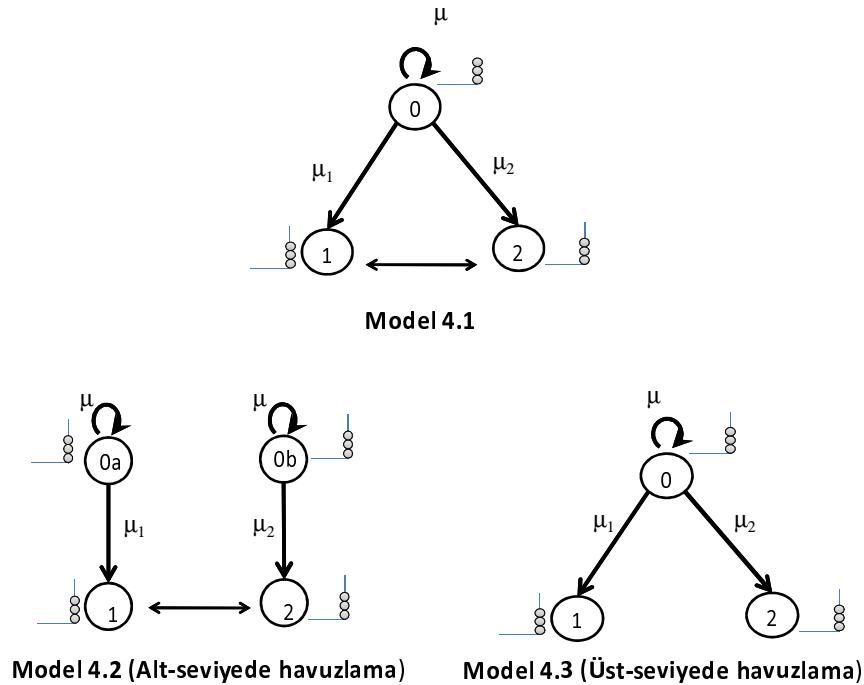
7.2 Sayısal Analizler

Bu bölümde Model 4 ve Model 5 altında yapılan sayısal analizler sunulmuştur.

Model 4 Analizleri

Bu modelde iki-seviyeden oluşan bir sistemde her iki seviyede envanter kararları verildiği varsayılmıştır. Modelin yapısının karmaşıklığından dolayı, optimal politika yapısının monotonluğu hakkında analitik sonuçlar elde edilememiştir. Sayısal analiz üç model altında yapılmıştır: Model 4.1, Model 4.2, Model 4.3.

Model 4.1, Şekil 26’de belirtilen temel modeldir. Bu model altında yapılan sayısal analizler ile üst seviyede stok tutmanın ve parça transferinin getirileri ölçülmüştür. Model 4.2 ve Model 4.3 altında yapılan sayısal analizler ile “kaynak havuzlamanın” karşılaştırmalı bir incelemesi yapılmıştır. “Kaynak havuzlama”nın iki biçimde yapılabileceği varsayılmıştır: (1) Model 4.2: Alt-seviye’de yapılan “kaynak havuzlama”, bayiler arası parça transferi ile gerçekleşmektedir. Bu model altında, üst seviyede bayiler için ayrı ayrı stok tutulduğu varsayılmaktadır, (2) Model 4.3: Diğer tip kaynak havuzlamada ise, hem üretim kapasitesi havuzlanmış, hem de üst seviyede bayiler için ortak stok tutulduğu varsayılmıştır. Bayiler arasında ise parça transferinin yapılmadığı varsayılmıştır. Model 4.2 ve Model 4.3’ün karşılaştırılması ile kaynak havuzlamayı hangi seviyede yapmanın daha etkili olacağı hakkında bilgi elde edilmiştir. Model 4.1 ise her iki seviyede de havuzlama yapılan duruma karşılık gelmektedir. Modeller, Şekil 28’de sunulmuştur.



Şekil 28: İki-seviyeli model altında kaynak havuzlama tiplerinin karşılaştırılması

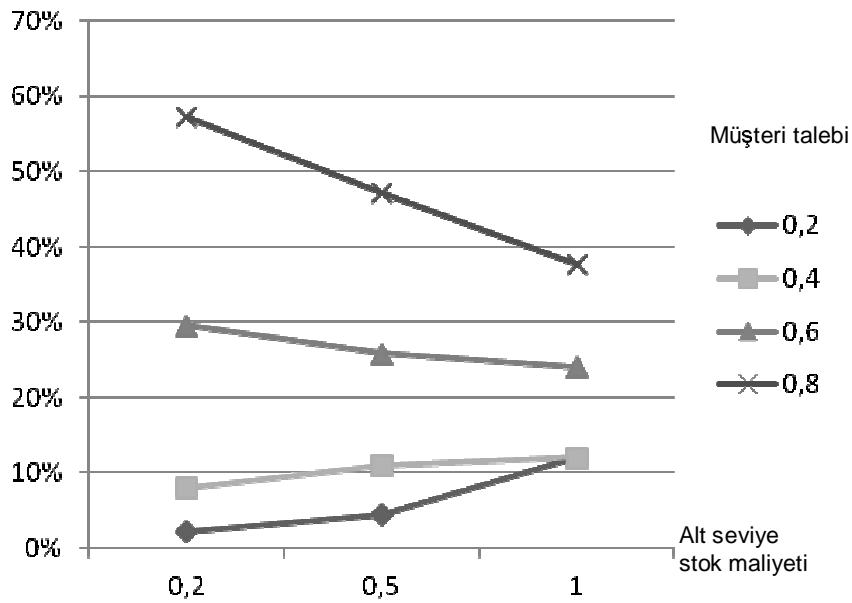
İki-seviyede kaynak havuzlama altında üst-seviye stoğunun ve bayiler arası parça transferinin getirisi

Bayiler için üreticide tutulan stoğun hangi durumlar altında en fazla getiri sağladığını analiz etmek için Model 4.1 altında elde edilen kar, üst-seviyede stok tutulmadığı varsayımı altındaki kar ile karşılaştırılmıştır. Analiz için parametreler müşterilerin bayilere geliş hızı, $\lambda_1 = \lambda_2 = \{0, 2; 0, 4; 0, 6; 0, 8\}$, üretim hızı, $\mu_u = \{1.5\}$, üreticiden bayilere parça gönderme hızı, $\mu_r = \{1\}$, parça transfer hızı, $\mu_t = \{4\}$, üst-seviye birim stok maliyeti, $h_0 = \{0, 3; 0, 5\}$, alt-seviye ek birim stok maliyeti $h = \{0, 2; 0, 5; 1\}$, parça transfer maliyeti, $tr = \{2, 5, 8\}$ olarak belirlenmiştir. Üst-seviyede stok tutulmayan sistem üreticinin Sipariş Üretim (SİPÜ, make-to-order) yaptığı sistem, üst-seviyede optimal seviyede stok tutulan sistem üreticinin Stoğa Üretim (STÜ, make-to-stock) yaptığı sistem olarak adlandırılacaktır.

Öncelikle SİPÜ ve STÜ sistemleri altında, alt-seviye birim stok maliyeti arttıkça parça transferinde artış gözlenmektedir. Üst-seviye birim stok maliyetinin etkisi de benzer olmaktadır. Müşteri talebi arttıkça, parça transferi önce artmakta daha sonra azalmaktadır. Her iki sistem altında, müşteri talebinin parça transferine benzer etki ettiği gözlenmiştir. Ancak parça transferinin artan talep ile azalmasının iki sistem altında farklı sebepleri olduğu görülmüştür. STÜ altında müşteri talebi özellikle üst-seviye stok miktarını artırmakta, bunun sonucunda parça transferine ihtiyaç azalmaktadır. SİPÜ altında ise artan müşteri talebini alt-seviye stok miktarını artırarak karşılamak maliyetli olacağı için müşterileri reddetmek bir seçenek olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle parça transfer miktarı yüksek talep altında azalma eğilimi göstermektedir. Burada dikkati çeken bir başka nokta, müşterileri reddetme seçeneğinin yüksek talep altında parça transferine tercih edilmesidir. Bu seçenek olmadığında, talebin parça transferine etkisinin her zaman pozitif olması beklenebilir.

STÜ'nün SİPÜ'ye göre performans ölçülerinde değişikliklere neden olduğu gözlenmiştir. STÜ altında bekleyen müşteri sayısı, SİPÜ altındaki değerine göre çok daha fazladır. Bekleyen müşteri sayısının bir “servis seviyesi”ni yansıttığı düşünüldüğünde, üst-seviyede stok tutmanın servis seviyesine katkısının olumsuz olduğu düşünülebilir. Bunun nedeni sistemi karlı durumda tutmak için servis seviyesinden feragat edilmesidir. Öte yandan, SİPÜ altında müşteri reddetme oranının stok tutulan sisteme kıyasla oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir.

Son olarak, her iki sistemde tutulan stok miktarları karşılaştırılmıştır. STÜ altındaki toplam stok miktarının, SİPÜ altındaki miktara göre daha fazla olduğu görülmüştür. İki sistem altında alt-seviyedeki stok miktarları karşılaştırıldığında, talep seviyesi arttıkça, SİPÜ altında stok miktarı azalmakta, STÜ altında stok miktarı artmaktadır. SİPÜ altında, artan talebe stok seviyesini artırarak cevap vermek, karı azalttığından müşteri reddetme oranı artırılmaktadır. STÜ altında ise talep arttıkça hem üst-seviyede hem de alt-seviyede stok miktarları artmaktadır. STÜ altında düşük alt-seviye birim stok maliyeti altında, talep arttıkça her iki seviyede stok miktarı artmaktadır. Yüksek alt -seviye birim stok maliyeti altında ise her iki seviyede destok miktarı artışı kısıtlı olmaktadır. SİPÜ altında ise, STÜ'ye kıyasla stok miktarındaki değişiklik oldukça kısıtlıdır. Buna göre, STÜ sisteminde, üst-seviyede tutulan stok daha az maliyetli olduğu için artan talebe, sistem stok miktarını değiştirerek (özellikle üst seviye stok miktarını) cevap vermektedir. SİPÜ altında ise göreceli olarak birim stok maliyeti yüksek olduğundan artan talebe müşteri red oranı artırılarak cevap verilmektedir.



Şekil 29: STÜ sisteminin SİPÜ'ye göre % getirisi ve alt-seviye birim stok maliyetinin getiri üzerindeki etkisi

Şekil 29'de h parametresinin üst-seviyede stok tutmanın getirisine etkisi gösterilmektedir. Beklendiği gibi getiri hep pozitiftir. Ancak yüksek talep altında getirinin %60 seviyelerine çıkabildiği görülmektedir. Yüksek talep altında stok tutabilme esnekliği, özellikle görece daha az maliyetli olan üst-seviye stoğu göz önünde bulundurulduğunda daha değerli olmaktadır,

bu nedenle yüksek talep altında esnekliğin getirisi daha yüksektir. Bunun yanısıra yüksek talep seviyeleri altında getiri h ile azalmakta iken düşük talep seviyelerinde h ile artmaktadır. SİPÜ altında talepteki değişikliğinin stok seviyesine etkisi pek fazla olmazken, STÜ altında talep arttıkça her iki seviyedeki stok miktarının belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu nedenle h 'deki değişiklik talep seviyesine göre farklı etkilerde bulunmaktadır. Talep düşükken STÜ altında alt-seviyede stok seviyesi çok düşük olduğundan h 'in artması karı çok az etkilemektedir. Öte yandan talep yüksekken STÜ altında her iki seviyedeki stok miktarı yüksektir ve h 'deki artış stok seviyelerini ciddi olarak etkilemekte ve karı belirgin bir şekilde düşürmektedir. Bu nedenle yüksek talep altında h 'deki artış STÜ'nin SİPÜ'ye kıyasla getirisini azaltırken, düşük talep altında getiriyi artırmaktadır.

Son olarak, parça transferinin getirisi incelendiğinde, getirinin her iki sistem altında alt-seviye birim stok maliyeti arttıkça arttığı gözlenmektedir. Talep artışının getiriye etkisini öngörmek mümkün değildir. Bunun nedeni müşteri reddetme seçeneğinin olmasıdır. Parça transferinin getirisinin SİPÜ sistemi altında STÜ'ye kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ancak her iki sistem altında da getiri kısıtlıdır. SİPÜ altında getiri en fazla %4 değerini alırken, STÜ altında getiri %0,5 ile sınırlı kalmaktadır. Parça transferi altında, her iki sistem altında stok seviyeleri parça transferi olmayan duruma göre daha yüksek olmaktadır.

Üst-seviye havuzlama ile alt-seviye havuzlamanın karşılaştırılması

Bu kısımda Model 4.2 ve Model 4.3 altında elde edilen sonuçların bir karşılaştırılması yapılacaktır.

Analiz için parametreler üretim hızı, $\mu_u = \{1.5\}$, parça transfer hızı, $\mu_t = \{4\}$, üst-seviye birim stok maliyeti, $h_0 = \{0, 3; 0, 5\}$, alt-seviye ek birim stok maliyeti $h = \{0, 2; 0, 5; 1\}$, parça transfer maliyeti, $tr = \{2\}$ olarak belirlenmiştir. Talep ve bayilere parça gönderme hızı ise üç farklı şekilde tanımlanmıştır 1) Bayilerin simetrik olduğu durum: $\lambda_1 = \lambda_2 = \{0, 2; 0, 4; 0, 6; 0, 8\}$, $\mu_r = 1$,

2) Bayilerin simetrik olmadığı, üreticiden parça gönderme hızının birbirine eşit olduğu durum: $(\lambda_1, \lambda_2) = \{(0, 12; 0, 28), (0, 24; 0, 56), (0, 36; 0, 84), (0, 48; 1, 12), \}$, $(\mu_{r1}, \mu_{r2}) = \{(1, 1)\}$,

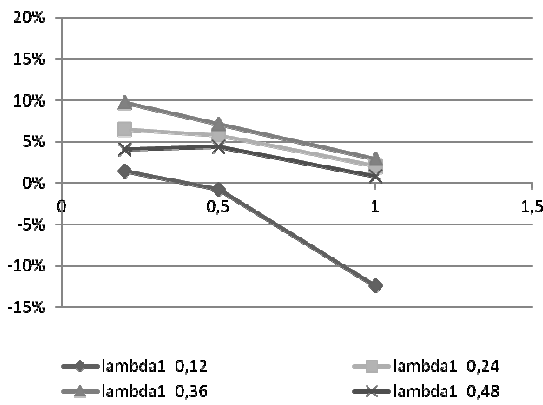
3) Bayilerin simetrik olmadığı, parça gönderme hızının talep hızı ile orantılı olduğu durum: $(\lambda_1, \lambda_2) = \{(0, 12; 0, 28), (0, 24; 0, 56), (0, 36; 0, 84), (0, 48; 1, 12), \}$, $(\mu_{r1}, \mu_{r2}) = \{(0, 6; 1, 4)\}$.

Analizler sonucunda, Model 4.2 altında elde edilen karın bayilerin talebi asimetrik iken bayilere parça gönderme hızının eşit olduğu, talebin görece yüksek olduğu ve alt-seviye birim stok maliyetinin düşük olduğu durumlarda Model 4.3 altında elde edilen kardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni şu şekilde açıklanabilir. Talep miktarı bayilerin stok ikmal hızları ile orantılı olmadığında, bir bayiye gelen yüksek talebin karşılanması için stok seviyesinin yüksek seviyede tutulması gerekmektedir. Bir anlamda, bir bayi için ikmal kapasitesi fazla iken, diğer bayi için kapasite yetersiz kalmaktadır; kapasitenin etkin kullanılması mümkün olmamaktadır. Kapasitesi yetersiz olan bayi yüksek stok tutma eğilimine gitmektedir. Bu şartlar altında havuzlamanın alt-seviyede yapılması üst-seviyede yapılmasından daha etkili olmaktadır: parça transferi kapasiteyi dengelemek için etkili bir araç haline gelir. Alt-seviyede havuzlama yapmanın daha karlı olduğu durumlar parça transferinin daha sık yapıldığı durumlara karşılık gelmektedir. Çok düşük ya da çok yüksek talep seviyeleri altında parça transferi kısıtlı olarak gerçekleşmektedir. Çok yüksek talep altında stok tutmak ya da müşteriye reddetmek de seçenekler arasında olduğundan, parça transferi çok fazla kullanılmamaktadır. Alt-seviye birim stok maliyeti arttıkça üst-seviyede havuzlama yapmanın alt-seviyede havuzlama yapmaya göre daha yüksek karlar verdiği görülmektedir. Bunun nedeni yüksek alt-seviye stok maliyetinin, üst-seviyede stok tutma eğilimini artırmasıdır. Üst-seviyede kaynak havuzlama yapmak bu şartlar altında karlı olmaktadır. Alt-seviyede stok tutma eğilimi altında ise, alt-seviye havuzlama yapmak karlı olmaktadır.

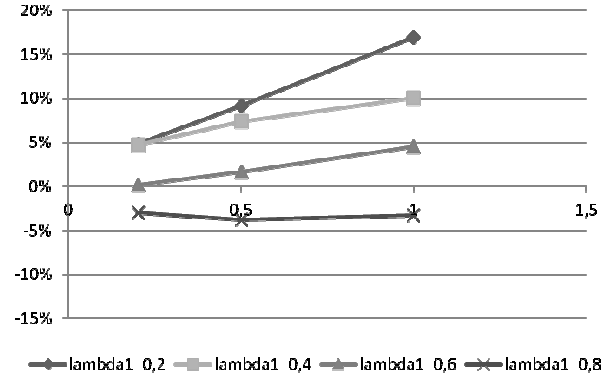
Asimetrik bayilerde, bayilere ikmal hızının talep ile orantılı olduğu durumlarda, iki havuzlama tipinin birbirinden çok farklı sonuçlar vermediği görülmektedir. Özellikle yüksek alt-seviye birim stok maliyeti ve düşük talep altında üst-seviyede havuzlama yapmak alt-seviyede yapılan havuzlamaya göre daha karlı olmaktadır.

Şekil 30 bayilerin ikmal hızlarının eşit olduğu varsayımı altında, simetrik ve asimetrik bayiler için hangi havuzlama tipinin daha etkili olduğunu göstermektedir. Buna göre bayiler simetrik olduğunda, talebin artması alt-seviyede havuzlama yapmanın getirisini azaltmaktadır. Talep en düşük seviyede iken alt-seviyede havuzlamanın etkisi en fazladır. Asimetrik bayiler için ise talep en düşük ve en yüksek seviyede iken alt-seviye havuzlamanın getirisi üst-seviye havuzlamaya göre en düşük olmaktadır.

Simetrik bayilerde alt-seviye birim stok maliyeti arttıkça alt-seviyede havuzlama yapmak üst-seviyede havuzlama yapmaya kıyasla çok daha karlı olmaktadır. Asimetrik bayilerde ise artan stok maliyeti ile üst-seviye havuzlama yapmak etliki olmaktadır. Bunun nedeni artan birim stok maliyetine simetrik ve asimetrik bayilerin farklı tepkiler vermesidir. Simetrik bayiler stok maliyetine alt-seviye stok seviyesini azaltarak cevap verirken, asimetrik bayiler stoğu üst-seviyeye taşıyarak cevap vermektedir. İkmal hızlarının talep ile orantılı olmaması kapasiteyi etkin kullanamamaya sebep olmakta, kapasitenin daha etkin kullanımı stoğu üst-seviyeye taşıyarak mümkün olmaktadır. Bu durumda üst seviyede havuzlama yapmak daha karlı hale gelmektedir.



(a) Asimetrik bayiler için havuzlama tipi karşılaştırması



(b) Simetrik bayiler için havuzlama tipi karşılaştırması

Şekil 30: Havuzlama tiplerinin karşılaştırılması ($\lambda_1 + \lambda_2$ 'nin sabit olduğu varsayılmıştır.)

Model 5 Analizleri

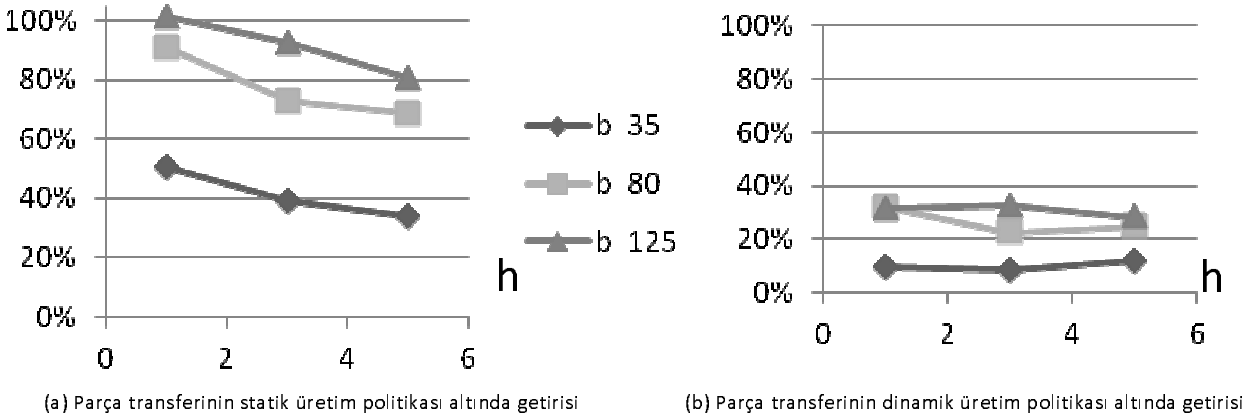
Model 5 altındaki sayısal sonuçlar şu araştırma sorularını yanıtlamak için analiz edilmiştir: (1) Stoklamanın dinamik olarak yapılması, statik olarak yapıldığı duruma kıyasla ne kadar getiri sağlar?, (2) Bayiler arası parça transferinin getirisi nedir? Statik ya da dinamik parça transferi karı nasıl etkiler?, (3) Stoklama kararları statik olduğunda, parça transferinin getirisi ne olur?

Model 5 altında Model 4'ten farklı olarak müşteri reddetme kararlarının olmadığı ve üst-seviyede stok tutulmadığı varsayılmıştır. Dinamik politikaları statik politikalar ile karşılaştırırken, *statik stoklama* bayi ikame kararlarının rassal olarak verildiği duruma karşılık gelmekte, *statik transfer* parça transfer kararlarının sabit bir transfer seviyesi altında, stok seviyelerinden

bağımsız olarak verildiği duruma karşılık gelmektedir. Statik stoklama ya da statik parça transfer politikaları altında kar belirlenirken kontrol değişkenleri (S_1, S_2, K_1, K_2) optimal seviyelerinde tutulmaktadır.

Bayiler arası parça transferinin dinamik ve statik stoklama altında getirisi

Bayiler arası parça transferinin getirisi incelendiğinde, her iki stoklama politikası altında müşteri bekletme maliyeti arttıkça getirinin arttığı gözlenmiştir (istisnai durumlarda farklı müşteri talep hızları altında farklı eğilimler de gözlenmiştir). Parça transferinin getirisi statik stoklama politikası altında belirgin olarak daha yüksektir. Statik üretim altında üretim kapasitesinin bayiler arasında paylaştırılması optimal şekilde yapılmamaktadır, parça transferi ise bu asimetriyi bir ölçüde gidermektedir. Bu nedenle statik üretim altında parça transferinin getirisi daha yüksek olmaktadır (Bkz. Şekil 31). Getirinin parça transfer hızı, μ_T , ile arttığı, parça transfer maliyeti, c_T ile azaldığı görülmektedir.



Şekil 31: Parça transferinin farklı stoklama politikaları altında getirisi (parça transfer hızı, $\mu_T = 10$, transfer maliyeti, $c_T = 15$ varsayılmış, bütün müşteri talepleri üzerinden ortalama alınmıştır).

Statik stoklama politikası altında, müşteri talebi düşük iken parça transferinin getirisi talebin yüksek olduğu duruma göre daha az olmaktadır. Dinamik stoklama altında ise parça transferinin getirisi artan talep ile azalmaktadır (Bkz. Şekil 31). Bunun nedeni, dinamik stoklamanın yüksek talep altında statik stoklamaya göre çok daha iyi performans göstermesidir. Yüksek talep altında stokların ve kapasitenin yönetimi, dinamik stoklama politikası ile daha iyi yapıldığı için parça transferinin katkısı talep artışı ile azalmaktadır. Öte yandan statik

stoklama, yüksek talep altında daha kötü performans göstermektedir, ve yüksek talep altında parça transferinin getirisi artmaktadır. Stok tutma maliyetinin, parça transfer getirisine etkisi incelendiğinde dinamik politika altında stok tutma maliyetinin getiriye etkisi olmazken, statik politika altında stok tutma maliyeti arttıkça getirinin azaldığı görülmüştür. Düşük müşteri talebi ve yüksek stok tutma maliyeti altında, dinamik ve statik stoklama birbirine yakın sonuçlar vermektedir. O nedenle bu durumlar altında parça transferinin getirisi sınırlı olmaktadır.

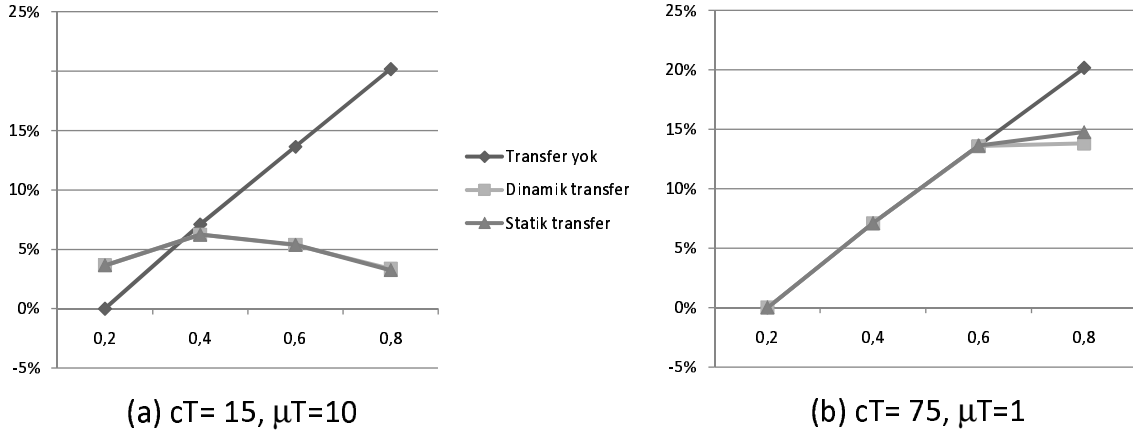
Bayiler arası parça transferinin dinamik olmasının getirisi

Optimal politika altında bayiler arası parça transferi her iki bayinin stok seviyesine bağlı olarak dinamik bir şekilde yapılmaktadır. Dinamik parça transfer politikası statik parça transfer politikası ile kıyaslandığında, farkın oldukça az olduğu gözlenmiştir (en fazla %1 seviyesinde). Fark oldukça küçük olduğundan, dinamik ve statik stoklama politikalarının parça transfer politikasının dinamik olmasının getirisine belirgin bir etkisi görülememiştir.

Dinamik stoklamanın statik stoklamaya göre getirisi

Dinamik stoklamanın getirisi üç ayrı parça transfer politikası altında ölçülmüştür: dinamik parça transferi yapılan durum, statik parça transferi yapılan durum ve parça transferi yapılmayan durum. Parça transferi yapılmayan durum altında müşteri talebi arttıkça dinamik stoklamanın getirisi artmaktadır (Bkz. Şekil 32). Parça transferi yapılan durumda, dinamik ya da statik parça transferi altında dinamik stoklamanın statik stoklamaya göre getirisi hemen hemen aynı olmaktadır. Şekil 32’de parça transferinin çok hızlı gerçekleştiği ve maliyetinin düşük olduğu durum ve bunun aksi durum altında stoklama getirisi gösterilmiştir. Buna göre parça transferi yapmanın maliyetsiz olduğu durum altında dinamik stoklamanın getirisi talep artışı ile orantılı olmamaktadır. Yüksek talep altında getirinin azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Buna göre, parça transferi yapılması dinamik stoklamanın getirisi kısıtlamaktadır. Düşük talep altında dinamik ve statik stoklama birbirine yakın politikalar verdiği için ve yüksek talep altında parça transferinin yoğun olarak yapılması kapasite paylaşımını optimale yaklaştırdığı için bu durumlar altında dinamik stoklamanın getirisi oldukça az olmaktadır. Parça transferinin maliyetli ve yavaş yapıldığı durum altında müşteri talebi arttıkça dinamik stoklamanın getirisi artmaktadır (Şekil 32(b)), bu parça

transferinin etkili bir şekilde yapılmadığına işaret etmektedir. Ancak çok yüksek müşteri talebi altında parça transferi yapılmakta, ve bu durum dinamik stoklamanın getirisini parça transferi yapılmayan duruma göre bir miktar azaltmaktadır.



Şekil 32: Dinamik stoklamanın farklı parça transfer politikaları altında getirisi (parça transfer hızı, $\mu_T = 10$, transfer maliyeti, $c_T = 15$ varsayılmış, bütün müşteri talepleri üzerinden ortalama alınmıştır).

8 Tartışma ve Sonuç

Bu projede, iki bayiden oluşan bir yedek parça yönetim sisteminde, parça (ya da hizmet) havuzlamanın getiri analizi yapılmıştır. Çalışmada yedek parça yönetim sistemlerinde havuzlama birkaç boyutta ele alınmaktadır. Öncelikle havuzlama altında bayilerin optimal kararlarının belirlenmesi problemi çalışılmış, şeffaf bilgi paylaşımı altında havuzlamanın getirisi, farklı havuzlama politikalarının getirileri ve servis seviyesi üzerindeki etkileri, ve bilgi paylaşımının havuzlama ve envanter kararları ve bayi karlılığı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Analizlerde, önce bir bayinin diğer bayinin politikasına hangi politika ile cevap vereceği üzerinde çalışılmış, havuzlamanın getirileri incelenirken bu varsayım ile devam edilmiştir.

Şeffaf bilgi paylaşımı altında, (i, j) 'nin bayilerdeki envanter seviyelerini gösterdiği durumda, bir bayinin optimal politikasını $(S_1(j), K_1(j), Z_1(j))$ yapısı ile tanımlamak mümkündür. Gözlemler sonucunda $S_1(j), K_1(j), Z_1(j)$ 'nin i üzerinde monoton, yani, kontrol-limit yapıda

olduğu söylenebilmekte, ancak bu kontrol parametrelerinin j üzerinde monotonluğu her durumda gözlenememektedir. Bayiler arası komisyon ödemesinin yapısına bağlı olarak $K_1(j)$, $Z_1(j)$ j ile artan ya da azalan yapıda olabilmekte, ve monoton olmayan durumlar gözlenebilmektedir. Bu politika yapısı için gerek-ve-yeter şartlar belirlenmiştir. Şeffaf bilgi paylaşımı altında yapılan sayısal analizlerde önce bir bayinin karının sistem şartlarından nasıl etkilendiği analiz edilmiştir. Daha sonra farklı havuzlama politikaları tanımlanmış, bu politikaların karı nasıl etkilediği incelenmiştir. Buna göre havuzlamanın optimal olarak yapılması karı %180'e varan oranlarda artırabilmektedir. Ancak optimal olmayan, fakat pratikte sıkça rastlanan politikalar uygulandığında havuzlama yapmak karı azaltabilmektedir. Örneğin, “Her zaman parça isteğini karşıla” politikasının bazı durumlarda havuzlama yapmamaktan daha düşük karlara sebep olduğu görülmüştür. Son olarak kontrol parametrelerinin sadece bayideki stok seviyesine bağlı olarak belirlendiği, statik havuzlama politikasının optimal politikaya kıyasla çok farklı sonuçlar vermediği görülmüştür. Bayideki servis seviyesinin havuzlama politikaları altında her zaman daha iyi olmadığı, karlılığı artırmanın servis seviyesini azaltmaya sebep olabildiği görülmektedir.

Bilgi paylaşımının getirilerini analiz etmek için, bayilerdeki stok seviyesinin bir bayi tarafından gözlenemediği ve gözlenemediği iki durum tanımlanmıştır. Gözlenemeyen sistem altında optimal politikanın belirlenmesi lineer olmayan bir model ile mümkün olmaktadır ve optimal politika rassal kararları içerebilir. Lineer olmayan modelin çözümü için BARON, CONOPT2, KNITRO çözücüleri denenmiştir. Karar değişkeni sayısının çok fazla olmasından dolayı çözücülerin performansı ve tutarlılığı istenilen seviyede olmamıştır. Bunun üzerine analiz rassal olmayan kararlarla sınırlandırılmış ve optimal politikanın belirlenmesi için bir algoritma önerilmiştir. Sayısal analizler sonucunda bilgi paylaşımının getirisinin sistem şartları ile oldukça değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Örneğin, düşük Bayi-1 talebi altında değişken komisyon ödemesi ve Bayi-2'nin parça transfer isteğinin sıklığı bilgi paylaşımının Bayi-1'e getirisi üzerinde etkili olurken, yüksek Bayi-1 talebi altında bilgi paylaşımının getirisinin bu faktörlerden etkilenmediği görülmektedir. Sonuç olarak, sistem şartları ile değişebilmekle birlikte, bilgi paylaşımın getirisi üzerindeki etkili üç faktörün ısmarlama maliyeti, üretim maliyeti ve değişken komisyon ödemesi olduğu söylenebilir.

Tek bir bayinin politika yapısı ve havuzlama ve bilgi paylaşımının getirisinin çalışmasının

ardından, havuzlama politikaları bayiler arası etkileşim varsayımı altında belirlenmiş ve getiriler analiz edilmiştir. Bayilerin etkileşim sonucunda bir denge noktasına ulaşacağı varsayılmıştır. Bayilerin bilgi paylaşımında bulunduğu varsayılmış ancak dinamik politikalar yerine statik politikalar altında çalışılmıştır. Bunun nedeni dinamik politikaların monoton olmayan bir yapıya sahip olmasının uygulamada zorluk yaratması ve etkileşim analizinde denge noktasına ulaşmada karşılaşılabilecek güçlüklerdir. Bayilerin statik politikalarının belirlenmesi için politika iterasyonu metodunu baz alan ve dinamik politikaları göz önünde bulunduran bir algoritma kullanılmıştır. Sayısal analizler simetrik bayiler, simetrik olmayan bayiler ve merkezi sistem için yapılmıştır. Analiz sonucunda etkileşim altında, etkileşim olmayan sisteme kıyasla komisyon ödemelerinin karı farklı biçimde etkilediği görülmektedir. Etkileşim olmayan sistemde bir bayinin karı komisyon ödemesi ile artan ya da azalan bir yapı göstermekte iken, etkileşimli sistem altında kar komisyon ödemesi ile önce artmakta daha sonra azalmaktadır. Bunun sebebi uç komisyon ödemesi değerlerinde bayilerin ya parça istemekte ya da parça göndermekte isteksiz olmasıdır. Envanter tutma maliyetinin havuzlamanın getirisi üzerindeki etkisi analiz edilmiş ve müşteri talebinin bu etkiyi nasıl değiştirdiği gözlenmiştir. Yüksek müşteri talebi bayiler arası parça akışının artmasına sebep olmaktadır. Genellikle parça akışının yüksek olduğu sistem şartları havuzlama getirisinin yüksek olduğu durumlara karşılık gelmektedir. Asimetrik durum altında havuzlama getirisi incelendiğinde bayilere getirinin simetrik duruma göre çok yüksek miktarlarda gerçekleşebildiği görülmektedir. Bunun sebebi bayilerdeki asimetrinin bayileri rekabetten çok işbirliğine götürebilmesidir. Son olarak merkezi sistem merkezi olmayan sistemle kıyaslanmış ve rekabetin kar üzerinde ne miktarda bir azalmaya sebep olacağı incelenmiştir. Ortalamada rekabetin karı azaltıcı etkisi %2 olurken bu miktar bazı sistem parametreleri altında %13'e kadar çıkabilmektedir. Merkezi sistem altında bayiler arası parça transferinin daima daha yüksek olduğu ve K ve Z kontrol değişkenlerinin birbirine yakın değerler aldığı görülmüştür. Merkezi sistemde servis seviyelerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Rekabetçi ortamda karın ve servis seviyesinin azalması, üreticinin istemediği bir durum olmaktadır. Bu nedenle üretici bazı teşvik mekanizmaları ile bayiler arasındaki parça akışını arttırmayı ve sistemi merkezi sisteme yakınsatmayı tercih edecektir. Bu amaçla, üretici tarafından uygulanabilecek teşvik mekanizmaları önerilmiş ve bu mekanizmaların bayi ve üreticinin karlılığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Olası teşvikler, bayilerin stok bulundurma maliyetinin bir

kısmını karşılamak, diğer bayinin parça transfer isteğinin reddedilmesi durumunda bayinin ceza ödemesi, parça transfer maliyetinin bir kısmını karşılamak, ve müşteriden elde edilen gelirin bir kısmını bayiye iade etmek olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda bazı teşvik mekanizmalarının teşviklerin uygun seviyelerde belirlenmesi halinde bayilerin ve üreticinin karlılığını artırabileceği ve rekabetçi sistemi merkezi sisteme yakınsatabileceği görülmüştür.

Projede son olarak iki-seviyeli yedek parça yönetim sistemleri ele alınmıştır. Merkezi olmayan sistemde optimal politikaların belirlenmesinin analitik olarak mümkün olmamasından dolayı, analiz merkezi sistem varsayımı altında yapılmıştır. ki-seviyeli sistemde üreticide bayiler için stok tutulduğu ve üreticideki kapasitenin bayiler tarafından paylaşıldığı varsayılmıştır. Farklı modeller altında optimal politikalar belirlenmiştir. retici seviyesinde stok tutmanın ve bayiler arası parça havuzlamanın getirisi incelenmiş, havuzlamanın farklı seviyelerde yapılmasının hangi şartlar altında karı artıracığı belirlenmiştir. st-seviyede stok tutulmadığı varsayımı altında, dinamik stoklama ve parça transfer politikalarının karlılığı nasıl etkileyeceği sayısal analizlerle ortaya konmuştur.

Projede yapılan çalışmaların bir kaç yönden geliştirilmesi planlanmaktadır. Literatürde, ikiden çok bayi varsayımı altında analizler çoğunlukla bilgi paylaşımı göz önünde bulundurulmadan yapılmış ve sezgisel politikalarla çalışılmıştır. Stok seviyelerinin gerçek-zamanlı olarak paylaşıldığı ikiden çok bayi bulunan sistemlerde bayilerin optimal politikalarının belirlenmesi bir araştırma konusu olarak ortaya çıkmaktadır. Başka bir problem bayilerin üreticideki tek bir kapasiteyi paylaşması durumunda stok ikmal zamanlarının farklı olduğu varsayımı altında kararların karakterizasyonudur. Stok ikmal zamanlarının farklı olması, ikmal kararlarının tamamen karakterize edilmesini mümkün kılmamaktadır ve literatürde bu konuda kaydedilen gelişme sınırlıdır [10, 8]. Bu konuda yapılacak çalışmalar anlamlı bir araştırma potansiyeli taşımaktadır. Son olarak merkezi olmayan bir sistemde bayilerin üreticideki kapasitenin bayiler arasında nasıl tayınlanabileceği de bir araştırma konusu olmaktadır.

Kaynaklar

- [1] ALFREDSON, P. AND VERRIJDT, J. 1999. Modeling emergency supply flexibility in a two-echelon inventory system. *Management Science*, **45**, 1416–1431.
- [2] ARCHIBALD, T. W., SASSEN, S. A. E. AND THOMAS, L. C. 1997. An optimal policy for a two depot inventory problem with stock transfer. *Management Science*, **43**, 173–183.
- [3] AXSÄTER, S. 1990. Modelling emergency lateral transshipments in inventory systems. *Management Science*, **36**, 1329–1338.
- [4] AXSÄTER, S. 2003. A new decision rule for lateral transshipments in inventory systems. *Management Science*, **49**, 1168–1179.
- [5] COHEN, M. A., AGRAWAL, N. AND AGRAWAL, V. 2006. Winning in the aftermarket. *Harvard Business Review*, 129–138.
- [6] COHEN, M., CULL, C., LEE, H. AND WILLEN, D. 2000. Saturn’S supply-chain innovation: high value in after-sales service. *Sloan Management Review*, **41**.
- [7] DADA, M. 1992. A two-echelon inventory system with priority shipments. *Management Science*, **38**, 1140–1153.
- [8] DE VERICOURT, F., KARAESMEN, F. AND DALLERY, Y. 2000. Dynamic Scheduling in a Make-to-Stock System: A Partial Characterization of Optimal Policies. *Operations Research*, **48**, 811–819.
- [9] GRAHOVAC, J. AND CHAKRAVARTY, A. 2001. Sharing and lateral transshipment of inventory in a supply chain with expensive low-demand items. *Management Science*, **47**, 579–594.
- [10] HA, A. 1997. Stock-rationing policy for a make-to-stock production system with two priority classes and backordering. *Naval Research Logistics*, **44**, 457–472.
- [11] KRANENBURG, A. AND VAN HOUTUM, G. 2009. A new partial pooling structure for spare parts networks. *European Journal of Operational Research*, **199**, 908–921.

- [12] KUKREJA, A., SCHMIDT, C. AND MILLER, D. 2001. Stocking decisions for low-usage items in a multilocation inventory system. *Management Science*, **47**, 1371–1383.
- [13] LEE, H. 1987. A multi-echelon inventory model for repairable items with emergency lateral transshipments. *Management Science*, **33**, 1302–1316.
- [14] MILGROM, P. AND SHANNON, C. 1994. Monotone comparative statics. *Econometrica*, **62**, 157–180.
- [15] NARUS, J. AND ANDERSON, J. 1996. Rethinking distribution-Adaptive channels. *Harvard Business Review*, 112–120.
- [16] SHERBROOKE, C. 1968. METRIC: A multi-echelon technique for recoverable item control. *Operations Research*, **16**, 122–141.
- [17] TAGARAS, G. AND COHEN, M. 1992. Pooling in two-location inventory systems with non-negligible replenishment lead times. *Management Science*, **38**, 1067–1083.
- [18] WONG, H., VAN HOUTUM, G., CATTRYSSE, D. AND VAN OUDHEUSDEN, D. 2006. Multi-item spare parts systems with lateral transshipments and waiting time constraints. *European Journal of Operational Research*, **171**, 1071–1093.
- [19] YANG, J. AND QIN, Z. 2007. Capacitated production control with virtual lateral transshipments. *Operations Research*, **55**, 1104–1119.
- [20] ZHAO, H., RYAN, J. AND DESHPANDE, V. 2008. Optimal dynamic production and inventory transshipment policies for a two-location make-to-stock system. *Operations Research*, **56**, 400–410.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 108M004
Proje Başlığı: Yedek Parça Yönetim Sistemlerinde Envanter Havuzlama ve Bilgi Paylaşımının Fayda Analizi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Yürütücü: Y.Doç.Dr. Seçil Savaşaneril Tüfekci Araştırmacılar: Doç.Dr. Yasemin Serin
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü İnönü Bulvarı, 06531 Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Tübitak
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.06.2008-01.09.2010
Öz (en çok 70 kelime) <p>Bu projede yedek parça sistemlerinde iki bayiden oluşan tek-seviyeli ve merkezi olmayan bir sistemde bayilerin optimal stok, tayın ve parça transfer kararları ele alınmaktadır. Optimal kararlar bayiler arası bilgi paylaşımının şeffaf olduğu ve olmadığı durumlar altında belirlenmiş, havuzlamanın getirileri ve bilgi paylaşımının getiriler üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Analizler önce tek bir bayi için yapılmış daha sonra bayiler arası etkileşim altında havuzlamanın getirileri incelenmiştir. Bayiler arası rekabetin hangi teşvik mekanizmaları altında azaltılabileceği incelenmiş, üretici ve bayilerin karlılığını artırabilecek teşvik mekanizmaları önerilmiştir. Son olarak analizler iki-seviyeli merkezi bir sistem altında yapılmış, havuzlamanın hangi şartlar altında hangi seviyede yapılmasının karlılığı artıracığı belirlenmiş, havuzlama, stok tutma ve dinamik politikaların getirileri sayısal analiz ile ortaya konmuştur.</p>
Anahtar Kelimeler: Yedek parça yönetimi, merkezi olmayan bayiler, havuzlamanın getirileri, bilgi paylaşımı, bayiler arası etkileşim, yedek parça sistemlerinde teşvik mekanizmaları, iki-seviyeli yedek parça sistemleri
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> <small>Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.</small>
Projeden Yapılan Yayınlar:

- **Satır, B., S. Savaşaneril, Y. Serin, POOLING THROUGH LATERAL TRANSSHIPMENTS IN DECENTRALIZED SPARE PARTS SYSTEMS, ISIR 16th International Symposium on Inventories, 23-27 August, 2010.**
- **Töre, N., S. Savaşaneril, Y. Serin, İki-Seviyeli Bir Üretim Sisteminde Envanter Yönetimi ve Ürün İkamesi, YA/EM 30. Ulusal Kongresi, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, 30 Haziran-2 Temmuz 2010.**
- **Satır, B., S. Savaşaneril, Y. Serin, Benefits of Inventory Pooling in Service Parts Management Systems, Manufacturing and Service Operations Management Proceedings, Boston, Massachusetts, USA, June 2009.**
- **Satır, B., S. Savaşaneril, Y. Serin, Benefits of Pooling in Service Parts Inventory Systems, 15th INFORMS Applied Probability Conference, Cornell, USA, July 2009.**
- **Usta, M., S. Savaşaneril, Y. Serin, Yedek Parça Yönetim Sistemlerinde Rekabet ve İşbirliği, YA/EM 29. Ulusal Kongresi, Bilkent Üniversitesi, Ankara, Haziran 2009.**
- **Usta, M., S. Savaşaneril, Y. Serin, , Competition and Collaboration in a Service Parts management System, 23rd EURO COnference, Bonn, Germany, Temmuz 5-8 2009.**
- **Satır, B., S. Savaşaneril, Y. Serin, Yedek Parça Yönetim Sistemlerinde Envanter Havuzlamanın Faydaları, YA/EM 28. Ulusal Kongresi, Galatasaray Üniversitesi, İstanbul, Temmuz 2008.**